

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE MEDIANTE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TUTOR: ÁLVARO BARBA NIETO

AUTOR: JUAN CERDÁN GARCÍA

Leganés, 25-7-2014



ÍNDICE

0. Glosario	5
1.- Introducción.....	7
1.1.- Objetivo y estructura del proyecto	7
2.- Energías renovables.....	9
2.1.- Introducción	9
2.2.- Energía solar	11
2.2.1.- Origen y naturaleza de la energía solar.....	11
2.2.2.- Radiación extraterrestre: la constante solar.....	12
2.2.3.- Radiación solar sobre superficies inclinadas.....	12
2.2.4.-Efecto de la orientación.	14
2.2.5.-Sombras.....	15
2.2.6.-Vientos	15
2.2.7.- Energía solar térmica.....	16
3.- Instalaciones de energía solar térmica y su clasificación.....	19
3.1.- Instalaciones pasivas.	20
3.2.- Instalaciones activas	21
3.2.1.- Instalaciones solares térmicas de alta temperatura.....	22
3.2.2.- Instalaciones solares térmicas de media temperatura.....	22
3.2.3.- Instalaciones solares térmicas de baja temperatura.....	23
4.- Descripción de instalación de energía solar térmica de baja temperatura.....	25
4.1.- Circuito cerrado.	25
4.2.- Componentes.	26
4.2.1.- Sistemas de captación solar.....	26
4.2.2.- Colector solar plano.....	27
4.2.3.- Estructuras soporte.....	31
4.2.4.- Circuito hidráulico: criterios de diseño.....	31
4.2.5.- Acumuladores: materiales, diseño, funcionamiento, tipos.	32
4.2.6.- Bombas de circulación.	34
4.2.8.- Intercambiadores	35
4.2.9.- Elementos de control, accionamiento y seguridad (criterios de diseño).....	35
5.- Aplicación práctica	39
5.1.- Descripción de la vivienda (planos, materiales, orientación).....	39
5.2.- Datos geográficos	40
5.2.1- Ubicación	40
5.2.2.- Zona climática:.....	40
5.2.3.- Radiación	41



5.2.4.- Datos climatológicos	42
6.- Cargas térmicas.....	43
6.1.-Cargas de calefacción.....	43
6.1.1 Cargas por transmisión	43
6.1.2 Cargas por ventilación	44
6.1.3 Cargas por infiltración	45
6.2 Cálculo de pérdidas de calefacción	46
6.2.1.-cálculo de Pérdidas por transmisión.....	46
6.2.2. cálculo de Pérdidas por ventilación	58
6.2.3 cálculo de Pérdidas por infiltración	63
7.- Instalación para producción de ACS y calefacción mediante suelo radiante.	69
7.1.- Introducción ACS.....	69
7.1.1.- Cálculos para la demanda de ACS.....	70
7.2.- Introducción a calefacción mediante suelo radiante.....	73
7.2.1.- Cálculos del aporte calorífico del suelo radiante.	76
7.3.- Diseño de la instalación.	86
7.3.1 Dimensionamiento nº de colectores para ACS	86
7.3.2.- Dimensionamiento del nº colectores suelo radiante.....	97
7.3.3 Sistema hidráulico	105
8.- Estudio del impacto ambiental.....	107
8.1.-Estudio del impacto ambiental para ACS	107
8.2.- Estudio del impacto ambiental para suelo radiante	109
9.- Análisis económico.....	111
9.1 Ahorro económico para ACS	111
9.2 Ahorro económico para suelo radiante	113
10.- Presupuesto de la instalación.....	115
11.- Conclusiones.....	117
11.1.-Conclusiones de los resultados obtenidos para aCS	117
11.2.-Conclusiones de los resultados obtenidos para suelo radiante.....	117
11.3.- Conclusiones sobre la viabilidad económica del proyecto.....	118
12.- Anexos.....	121
Anexo I: Planos de la vivienda.....	121
Anexo II: Propiedades termodinámicas del agua saturada	129
Anexo III: Pérdidas de carga tubos de PE-XC polietileno reticulado (ROTH)	130
Anexo IV: Características de la instalación	131
Características del colector empleado	131
Características de la caldera mural.....	133
Características del intercambiador de calor	134



Características del suelo radiante	135
Bomba del suelo radiante	136
Características del acumulador de agua.....	137
13.-Bibliografía.....	139





0. GLOSARIO

T: Temperatura media mensual/anual (°C).

TM: Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C).

Tm: Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C).

R: Precipitación mensual/anual media (mm).

H: Humedad relativa media (%).

DR: Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm.

DN: Número medio mensual/anual de días de nieve.

DT: Número medio mensual/anual de días de tormenta.

DF: Número medio mensual/anual de días de niebla.

DH: Número medio mensual/anual de días de helada.

DD: Número medio mensual/anual de días despejados.

I: Número medio mensual/anual de horas de sol.

ACS: Agua Caliente Sanitaria.

CTE: Código Técnico de la Edificación.

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios.

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología.

BOE: Boletín Oficial del Estado.



1.- INTRODUCCIÓN.

1.1.- OBJETIVO Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es el diseño de una instalación solar térmica orientada a la producción de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción mediante suelo radiante en una vivienda unifamiliar situada en el municipio de Getafe.

A lo largo del mismo, se explicarán y dimensionarán los principales componentes necesarios para tal efecto y se procederá al estudio de cargas térmicas así como su viabilidad económica e impacto ambiental de acuerdo con la legislación vigente.

En los últimos años se está produciendo un aumento notable de instalaciones de Energía Solar Térmica a causa, por una parte, de la sensibilidad creciente de la sociedad hacia la necesidad de sustituir los combustibles fósiles y, por otra, a los grandes avances en sistemas de mejor calidad y más económicos.

Atendiendo al Código Técnico de Edificación (CTE), en España las instalaciones para producción de ACS y climatización están obligadas a llevar una contribución solar mínima de energía solar. Dicha aportación corresponde a un porcentaje de ahorro energético, de acuerdo con la zona climática y ha de tener en cuenta la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal.

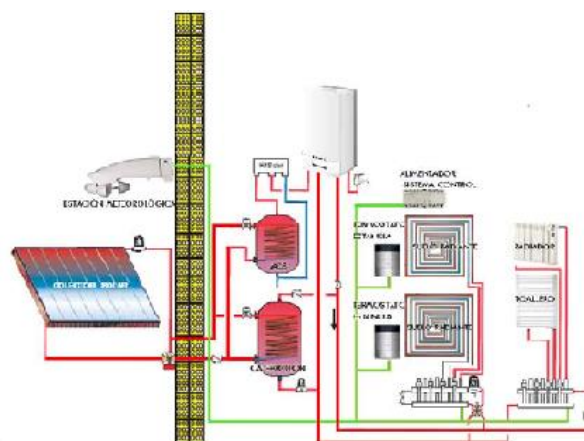


ILUSTRACIÓN 1: ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE ACS Y SUELO RADIANTE

Dado el amplio elenco de posibilidades que nos ofrece la energía solar térmica, así como de los diversos conocimientos adquiridos durante la carrera, se pretende realizar un proyecto para su aplicación en un diseño cada vez más extendido. El uso de la misma se realizará durante los doce meses del año (12 meses para ACS y 8 para calefacción). Constará



de 8 colectores solares (1 para ACS y 7 para calefacción), con sus correspondientes circuitos hidráulicos, y un depósito acumulador de agua (para ACS).

El objetivo de este proyecto es realizar con detalle un estudio de los principales elementos que requiere una instalación de esta envergadura, así como presentar una simulación práctica en la que se demuestre su viabilidad estructural y económica.

2.- ENERGÍAS RENOVABLES

2.1.- INTRODUCCIÓN

Se denomina energía renovable a aquella energía procedente de fuentes naturales inagotables debido a la grandísima cantidad de energía que contienen así como por su capacidad de regeneración por medios naturales.



ILUSTRACIÓN 2: ENERGÍAS RENOVABLES

En esta última década, debido al notable incremento del coste de los combustibles fósiles así como los diversos contratiempos medioambientales derivados de su extracción y explotación, se está asistiendo a un resurgimiento de las energías renovables en el panorama europeo.

Estas se pueden dividir en dos grupos claramente diferenciados: limpias y contaminantes (7):

ENERGÍAS LIMPIAS	ORIGEN
Energía eólica	Viento
Energía geotérmica	Calor interno de la Tierra
Energía solar	Sol
Energía undimotriz	Olas de mares y océanos
Energía hidráulica	Ríos y corrientes de agua dulce
Energía mareomotriz	Mareas de océanos y mares
Energía azul	Desagüe de ríos de agua dulce en agua salada

TABLA 1: CLASIFICACIÓN ENERGÍAS LIMPIAS

En esta clasificación se podría haber incluido la energía nuclear. Esta se obtiene a partir de la fisión del núcleo atómico de elementos pesados como el Uranio. Sin embargo, debido a diversas catástrofes históricas como la de Chernóbil o Fukushima, se encuentra en claro desvanecimiento en la actualidad.

Por otro lado, las contaminantes emergen de la materia orgánica o biomasa, y se pueden emplear directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogás mediante procesos de fermentación orgánica, o en biodiésel, mediante reacciones de transesterificación de los residuos urbanos.

Las características más importantes de las energías renovables son las siguientes (7):

- Su sostenibilidad nos permite utilizarlas indefinidamente sin agotamiento.
- Las fuentes de energías renovables se encuentran dispersas, por lo que generalmente:
 - Las centrales son de pequeña potencia, salvo las hidroeléctricas (GW).
 - Están bastante distribuidas lo que resulta beneficioso.
 - Pueden estar cerca del consumidor, lo cual supone un notable ahorro en costes y pérdidas en el transporte (fotovoltaica).
 - Pueden estar alejadas del consumidor (solar/eléctrica en África del Norte y tener que ser transportada a Europa).
 - Su despliegue puede significar un impacto en el medio ambiente de cierta magnitud, aunque reversible (eólica o cultivos energéticos intensivos).
- Son respetuosas con el medio ambiente, no contaminan y representan la alternativa de energía más limpia hasta el momento.
- Al generar recursos por sí misma, la energía solar contribuye a la diversificación y autonomía de sus usuarios.
- Favorece y promueve el desarrollo industrial y económico de la región en la que se instala.
- Su implantación repercute positivamente en la generación de puestos de trabajo, lo cual se debería ver traducido en un paulatino crecimiento a corto y medio plazo debido a la preocupación general por salvaguardar el medio ambiente.
- Variables en el tiempo. Algunas incorporan almacenamiento (biomasa y termosolar).
- Autóctonas, por lo que pueden reducir la dependencia energética del exterior.
- Contribuyen a la diversificación energética, disminuyendo de ese modo el riesgo de un colapso energético por carencia del suministro importado o de una de las renovables.
- El consumo cerca de la producción favorece la responsabilidad del consumidor.
- Su variabilidad en el tiempo exigiría un sistema eléctrico con mayor respaldo de producción de rápida respuesta, aumentando el coste de la electricidad.
- Elevado coste, debido a la amortización de equipos y mantenimiento.

Para este proyecto, se hará uso de la energía solar a través del empleo de colectores solares planos con el primordial objetivo de transformar la radiación del sol en energía térmica. De este modo calentando un fluido caloportador y mediante transferencia térmica se incrementará la temperatura del agua circulante por el circuito secundario. Este agua tendrá distintos propósitos que se describirán con posterioridad.

2.2.- ENERGÍA SOLAR

Para poder dimensionar las instalaciones de energía solar térmica ha de conocerse y comprender la cantidad de energía de la que se dispone, así como sus características. España es un país altamente favorecido por la radiación solar debido a su privilegiada situación y climatología. Según los datos del Ministerio de Medio Ambiente, la radiación global sobre superficie

horizontal en España oscila entre 1,48 kWh/(m²·día).



ILUSTRACIÓN3:
CAPTACIÓN DE ENERGÍA
SOLAR

2.2.1.- ORIGEN Y NATURALEZA DE LA ENERGÍA SOLAR.

El origen de la energía solar se encuentra en las reacciones termonucleares de fusión del hidrógeno, que se transforma en helio con una pérdida de masa que se convierte en energía según la ecuación de Einstein:

$$E = m \cdot c^2 \quad (1)$$

Todas estas transformaciones están contenidas por las fuerzas gravitatorias.

En el Sol se transforman 700 millones de toneladas de hidrógeno en He cada segundo, con una pérdida de masa de 4,3 toneladas. En esta situación, el Sol tardaría 6.000 millones de años en reducir en un 10% su masa de hidrógeno. Se estima que lleva brillando en el Espacio desde hace más de 5.000 millones de años y que el tiempo que le resta de vida es aún mayor.

Aproximadamente, se podría estimar la radiación solar como la de un cuerpo negro a la temperatura equivalente de 5.777K. La mayor parte de la radiación solar se encuentra comprendida entre 0,3 y 3μm. El 47% corresponde a banda visible (0,38μm<λ<0,78μm), el 46% corresponde a la infrarroja (λ>0,78μm, radiación utilizada para producción de agua caliente en energía solar térmica) y el 7% a la radiación ultravioleta (λ<0,38μm, empleada por los módulos solares fotovoltaicos para producción de electricidad).

2.2.2.- RADIACIÓN EXTRATERRESTRE: LA CONSTANTE SOLAR.

La distancia entre el Sol y la Tierra varía entre 147.106 km (solsticio de invierno) y 152.106 km (solsticio de verano).

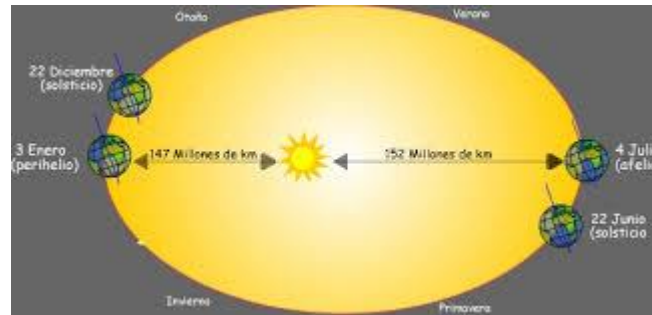


ILUSTRACIÓN 4: DISTANCIA DEL SOL Y LA TIERRA ANUAL

Algunos términos fundamentales son la irradiancia y la irradiación, los cuales nos dan una muestra evidente de la energía que se puede aprovechar en formas de ondas electromagnéticas, procedentes del Sol.

Se define la constante solar como la energía solar recibida por unidad de tiempo en una superficie de área unidad perpendicular a la dirección de propagación de la radiación y que está situada fuera de la atmósfera a la distancia media entre la tierra y el sol. Tradicionalmente se ha cifrado en 1.353 W/m².

2.2.3.- RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS.

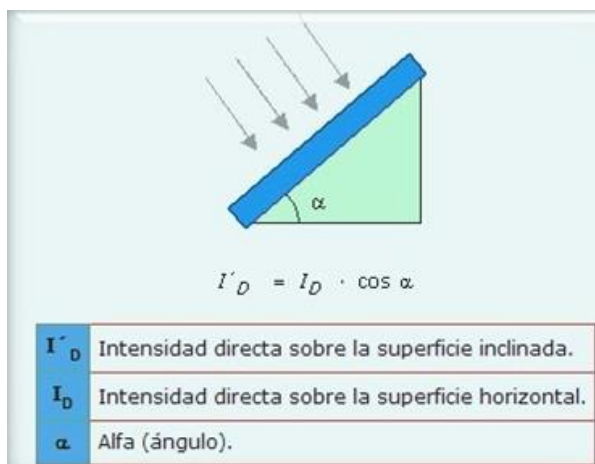


ILUSTRACIÓN 5: INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE PLANO INCLINADO

Para que los colectores solares maximicen la captación de energía (superficie normal a los rayos solares), estos deberían variar su posición constantemente lo cual incrementaría notablemente el coste de la instalación. Por ello, se suele determinar una posición fija en función del periodo estacional.

La inclinación óptima es igual a la diferencia entre latitud y declinación, y consecuentemente varía a lo largo del año. En verano, la inclinación de los paneles

suelen ser menores que la latitud. Por otro lado, en invierno la inclinación será mayor

que la latitud. Finalmente, si lo que se pretende es utilizarlos durante todo el año para aplicaciones de agua caliente como es el objetivo del presente proyecto, la inclinación coincidirá aproximadamente con la latitud. (5)

La intensidad sobre la superficie varía en la misma proporción que lo hace la energía E , por lo que se denominará $I'd$ a la intensidad sobre la superficie inclinada, I_d a la intensidad directa sobre la superficie horizontal y β al ángulo de inclinación del panel sobre la horizontal obteniendo:

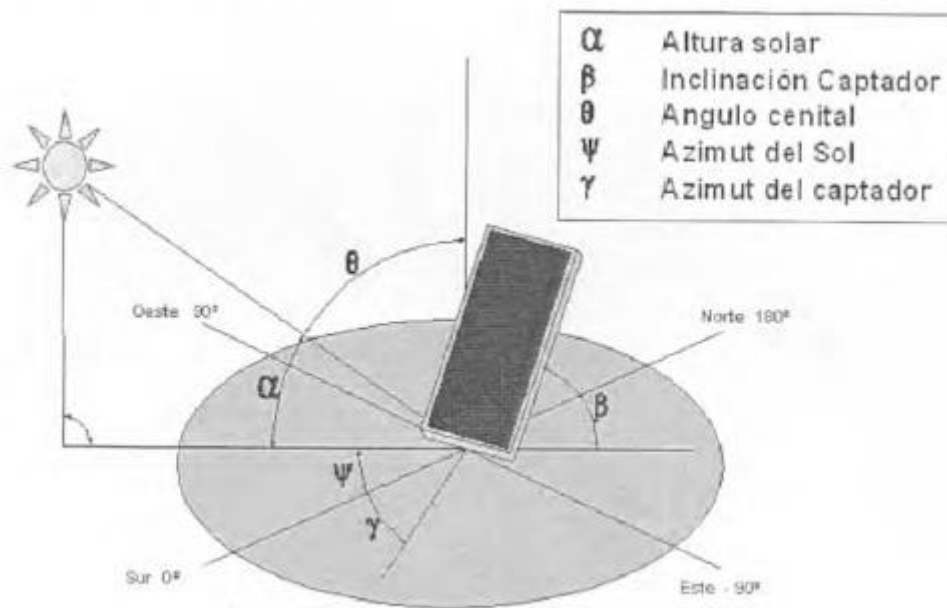


ILUSTRACIÓN 6: POSICIONAMIENTO COLECTOR SOLAR

Un parámetro fundamental es α (altura solar). Es por él por lo que los rayos solares calientan mucho más a mediodía que a primeras o últimas horas del día. Y es que en el primer caso el factor $\cos(\alpha)$ es más grande. Para la ubicación de los colectores solares se hará sobre cubierta inclinada orientada hacia el sur acogiéndose en todo momento a los requisitos del Código Técnico de la Edificación. Al mismo tiempo, dado que el uso de la instalación está previsto que sea durante el transcurso de todo el año, su inclinación respecto del plano horizontal será el valor de la latitud a la que está situado Getafe (40°). (5)

En cualquier caso, siempre será necesario tener muy presente la posible influencia de las sombras que se produzcan en torno a los colectores siendo aconsejable seguir la alineación con los ejes principales de la edificación.

2.2.4.-EFECTO DE LA ORIENTACIÓN.

Para el hemisferio Norte se asume orientación sur, mientras que para el hemisferio Sur se debe escoger el opuesto. Para el caso del Ecuador se orientará el colector de forma que se respete al menos entre 5 y 10 grados respecto a la latitud.

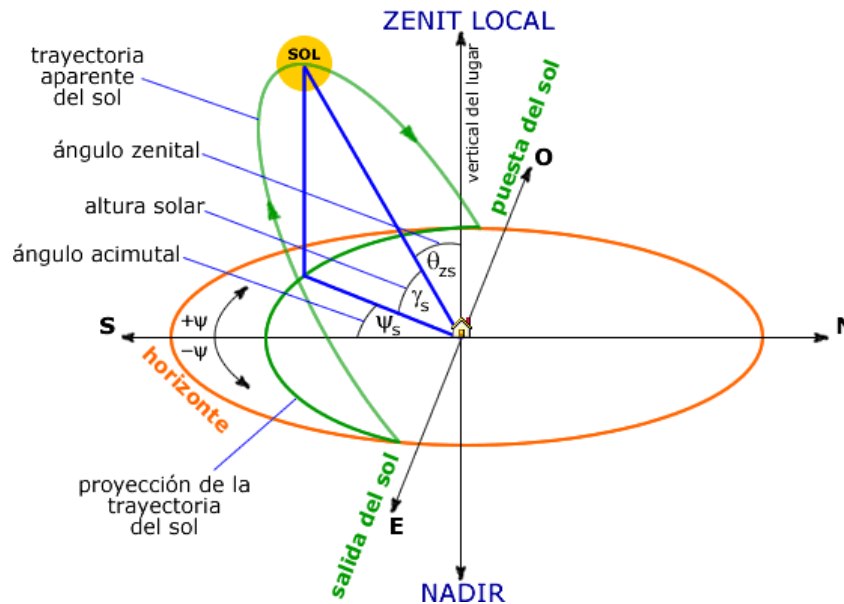


ILUSTRACIÓN 7: EFECTO DE LA ORIENTACIÓN

Si se precisara la posición del Sol con respecto a un observador hipotético sobre un plano horizontal que se encontrara inmóvil, se utilizarán dos coordenadas llamadas altura solar γ_s y el ángulo acimutal ψ_s . La altura solar es el ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. A veces también se usa el llamado ángulo cenital θ_{zs} o distancia cenital que es el que forma el rayo con la vertical. Es decir $\gamma_s + \theta_{zs} = 90^\circ$. Siendo $\gamma_s = 23^\circ$ el valor del ángulo en el solsticio de invierno y tomando este valor del ángulo como el más bajo para el cálculo de las sombras, por ser este más desfavorable.

La orientación viene definida por el ángulo que forma, con la dirección Sur la proyección sobre el plano horizontal de la normal al plano del colector ψ_s . Si el ángulo ψ_s es inferior a 30° respecto a la orientación Sur hace disminuir la radiación diaria en menos de un 5%.

2.2.5.-SOMBRA.

Son uno de los aspectos que preocupa y genera inconveniente a la hora de poder dar una cobertura idónea que es exigencia mínima según el C.T.E., para ello es necesario tener en cuenta las posibles zonas de sombra que puedan afectar a nuestra instalación. Se prestará especial atención a la hora de situar instalaciones solares en espacios reducidos o con obstáculos próximos.

Se ha de tener en cuenta que el momento en el que el Sol esté en la posición más baja con respecto a la horizontal (solsticio de invierno), se obtiene un ángulo de la altura solar similar a 23° , que se recomienda utilizar para su cálculo.

Como norma general se establecerá que en el día más desfavorable del periodo de utilización del equipo solar se deben evitar sombras entre las 9 y las 15 horas solares en más del 5% de la superficie o área total útil de captación de los colectores.

Si el equipo solar se va a emplear durante todo el año o preferentemente en invierno como es nuestro caso, el día más desfavorable del año será el 21 de Diciembre. La altura solar mínima a las doce horas solares o mediodía solar será:

$$H_m = (90^\circ - \text{latitud}) - 23^\circ \quad (2)$$

En cuanto a la proyección de sombras por parte de elementos que puedan afectar a nuestros colectores, es importante analizar las sombras a lo largo de los meses del año entre las 9 y 15 horas solares, para que no afecten a su rendimiento.

Aunque no es el objetivo del presente proyecto, su cálculo se realiza a través de tablas estandarizadas de la que se extraen la altura y azimut del Sol para poder realizar el estudio de sombras. Del mismo modo, se calculan los periodos anuales de sombra superponiendo en el gráfico de posición solar la visión del obstáculo. A partir de ese momento será posible determinar geométricamente posiciones y diseños óptimos.

No obstante en la casa objeto de este estudio, los captadores térmicos solares se ubicarán en la cubierta sur, por lo que las pérdidas de radiación por efecto de las sombras se considerarán 0% y no serán tenidas en cuenta.

2.2.6.-VIENTOS

Existirán determinados elementos de la instalación que serán diseñados con la máxima prevención de cara a agentes meteorológicos que puedan dañar su estructura. El viento jugará un papel en contra si no se efectúan las medidas de seguridad adecuadas.

Para ello, existen estructuras de fijación cuya misión será la de soportar la fuerza del viento. Es por ello que el diseño y selección del tipo de anclaje requerirá atención especial de



cara a ofrecer la máxima garantía de la estructura sin afectar en ningún momento a ninguno de sus elementos.

Uno de los sistemas más utilizados para el anclaje son los dados o bordillos de hormigón. Para estructuras sobre cubiertas planas, sin un sistema de fijación los dados deberán pesar más que la fuerza que les transfiera el viento.

2.2.7.- ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Es la energía susceptible de ser captada del sol y que es aprovechada para el calentamiento de líquidos por algún medio caloportador con el fin de ser utilizadas en distintas aplicaciones a nivel industrial, doméstico, etc... como el calentamiento de agua caliente sanitaria.

Las diversas aplicaciones que ofrece la energía solar térmica desembocan en el diseño de instalaciones mixtas y complejas con gran variedad de usos: producción de ACS, apoyo a la calefacción por suelo radiante, así como la climatización de piscinas o viviendas por medio de fan-coils o máquinas de absorción.

Para calentar las placas metálicas de los colectores solares se debe de tener en cuenta tres factores clave (20):

- “Se le aplicará a las placas el efecto invernadero mediante un sistema de cámaras que atraparán el calor”.
- “La placa metálica (absorbedor) que generalmente es de cobre será oscurecida mediante color negro mediante pinturas epóxicas de gran capacidad absorbidora para atraer la mayor cantidad de calor posible”.
- “La inclinación de los colectores, aparte de para recoger la máxima cantidad de radiación solar por unidad de superficie con el objetivo de lograr la incidencia normal, se debe también para favorecer la transferencia del líquido caliente sobre el frío”.

Energía solar térmica en España, Europa y el Mundo.

Al igual que la energía eólica, la energía solar térmica está desempeñando un papel fundamental dentro del campo de las energías renovables. Y es que en los últimos años, las instalaciones de energía solar térmica están cogiendo cada vez más peso dentro del panorama mundial.

En el territorio nacional, se encuentran grandes proyectos como la torre Andasol (Granada), las planta de Puerto Errado (Murcia), el concentrador parabólico en Puertollano (Ciudad Real) y PS10 y PS20 en Sanlúcar la Mayor (Sevilla).

Según el prestigioso diario británico The Guardian, España ocupa la primera posición dentro del campo de los concentradores solares. En segunda posición se haya Estados Unidos. A todo ello hay que sumarle los más de 40 proyectos aprobados para 2015 con cifras que se esperan que lleguen a la generación de 2GW de potencia.



Uno de los papeles clave para la impulsión de la energía solar térmica ha sido la creciente preocupación en Norteamérica y Europa Occidental para disminuir la dependencia energética de combustibles fósiles los cuales se extraen de zonas en los que todavía y a día de hoy, continúan abiertos graves conflictos bélicos. Por todo ello, la búsqueda de nuevas formas de energía, pese al descenso de las inversiones públicas en investigación y desarrollo, va tomando cada vez más intensidad dentro del panorama mundial.

En la actualidad la mayor instalación en funcionamiento de energía solar térmica en el mundo se encuentra en Arabia Saudí dentro del Campus de la Universidad Princess Noura Bint Abdul Rahman, duplicando en tamaño a la segunda situada en Dinamarca.

Cuenta con colectores solares importados desde Austria que además del abastecimiento para agua caliente sanitaria, son empleados para apoyar al sistema de calefacción de toda la universidad. La magnitud de la infraestructura es tal, que da capacidad a más de 40.000 personas. (10)

Según recientes estudios, se establece el año 2030 como plazo máximo para que se agoten los recursos petroleros y de gas de todos los países del Golfo Pérsico. Por todo ello, se puede apreciar como la energía solar térmica puede tomar un rol muy destacado dentro del futuro energético mundial en muy pocos años.



3.- INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y SU CLASIFICACIÓN.

La radiación que llega a España es elevada para poder utilizar la energía solar como fuente térmica y por lo tanto para desempeñar un rol capital en las distintas aplicaciones de producción de ACS, calefacción y climatización.

Se pueden clasificar las instalaciones de Energía Solar Térmica en dos grandes grupos ampliamente diferenciados en función de la intervención o no de elementos mecánicos para la captación de energía. Es por ello que existen sistemas pasivos y activos (20):

- Las instalaciones pasivas se basan en procesos físicos básicos y están enfocadas a la aclimatación (calefacción o refrigeración) de volúmenes habitados, sin contar en ningún momento con la actuación de ningún instrumento mecánico (arquitectura bioclimática).
- Las instalaciones activas son utilizadas para el calentamiento de fluidos, normalmente agua, y para la refrigeración de aire a partir de la concentración de la radiación solar.

De una manera más global y haciendo hincapié en sus diferentes aplicaciones, las instalaciones solares se ramifican en tres grandes grupos:

- De uso doméstico residencial:

- Producción de agua caliente sanitaria: activos y pasivos.
- Calentamiento de piscinas.
- Calefacción: activos por aire o por agua, pasivos (arquitectura bioclimática).
- Refrigeración: por absorción, adsorción.

- De uso industrial:

- Calor para procesos.
- Desalación de aguas por evaporación.
- Producción de energía eléctrica (colectores con concentración).

-De uso agrícola:

- Invernaderos solares.

A continuación se muestra un esquema más amplio de la energía solar térmica, haciendo especial énfasis en las distintas utilidades de las instalaciones activas de baja temperatura.

3.1.- INSTALACIONES PASIVAS.

Proviene de arquitectura e ingeniería bioclimáticas que aprovechan el diseño arquitectónico para conseguir un mejor aprovechamiento de la energía solar, sirviéndose de las propiedades de los materiales constructivos e, incrementando la eficiencia térmica de la instalación, al mismo tiempo que se minimizan las pérdidas térmicas.

Según (20) “existen tres tipos de aplicaciones de la arquitectura bioclimática, que dependen de la interacción conseguida y de la extensión del balance energético global”, estas son:

- “Obtención de la mayor eficiencia energética posible, adecuando lo máximo posible su diseño”.
- “Construcciones en las cuales el balance energético global no se basaría solo en su vida útil, sino que tendría en cuenta todo el proceso de construcción, tanto los materiales como el proceso de fabricación de estos. De esta forma se le asignaría prioridad a los materiales menos costosos energéticamente o de menores niveles de contaminación”.
- “Edificaciones que además de tener en cuenta el balance energético, también tienen en cuenta su integración dentro del entorno, disminuyendo al máximo el posible impacto visual. Para ello, se procede al mantenimiento de la vegetación (facilitando el crecimiento de especies autóctonas), ahorro de agua (a partir de la implantación de redes separativas de aguas grises y negras, captación del agua de lluvias, etc...)”

Un racional uso de los materiales de construcción, combinación y colocación de los aislamientos y de la inercia térmica adquieren dentro del campo de la arquitectura bioclimática una vital importancia.

Para la ubicación de una vivienda o construcción arquitectónica bajo estas premisas, además de las condiciones climáticas, pendiente del terreno, etc... habrá que tener muy presente la orientación de la misma. Un diseño adecuado será aquel en el que la mayor cantidad superficie de la vivienda esté orientada al sur. De esta manera se captará la mayor cantidad de energía solar pasiva a través de ventanas y elementos arquitectónicos que faciliten la climatización o calefacción en función de la época del año.

En lo que se refiere a los materiales, habrá que tener muy en cuenta el tipo de ladrillo a utilizar y su espesor. La termoarcilla, es un material ecológico, biodegradable y con componentes naturales, que añaden elementos aislantes, para que no necesite un recubrimiento adicional.

También, un correcto aislamiento de los acristalamientos nos permitirá obtener la mayor captación solar durante el día obteniendo luz y calor, mientras que por la noche a través de los fenómenos de conducción y convección evacuará el calor interior.

Un ejemplo muy llamativo de instalación de energía solar térmica pasiva es el invernadero de la estación de Atocha en Madrid.



ILUSTRACIÓN 8: ESTACIÓN DE ATOCHA. INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PASIVA

A través de su sistema evaporativo de refrigeración permite refrescar el ambiente a partir de la evaporación de agua. En los espacios abiertos en los que existe el efecto invernadero, si se varían los parámetros de humedad relativa, se puede llegar a conseguir calefacción en invierno o refrigeración en verano.

3.2.- INSTALACIONES ACTIVAS

Los sistemas activos son aquellos que emplean su potencial para el aprovechamiento de las energías renovables. En el vigente proyecto, se hará uso de la energía solar para la producción de ACS y calefacción.

Este tipo de instalaciones cuentan por lo general con un circuito primario y otro secundario. Por el circuito primario circulará un fluido caloportador (agua+glicol). Para el presente proyecto se ha empleado el Ecoglicol Plus, que se calentará a partir de la radiación solar captada por los colectores solares. En función de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida del primario se distinguen tres tipos de instalaciones:

- Energía solar térmica de alta temperatura ($T > 250^{\circ}\text{C}$)
- Energía solar térmica media temperatura ($90^{\circ} < T < 250^{\circ}$)
- Energía solar térmica de baja temperatura: ($T \leq 90^{\circ}$)

Hoy en día, la implantación de las instalaciones de energía solar térmica se está convirtiendo en una realidad que va a más. Presentan un amplio abanico de posibilidades, tanto en el ámbito industrial como en el uso doméstico.



3.2.1.- INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS DE ALTA TEMPERATURA.

Como se ha comentado anteriormente, en este tipo de circuitos, el fluido caloportador llega a alcanzar temperaturas superiores a los 250°C. Su uso se da más en el terreno industrial para la generación de vapor en centrales termosolares, el cual será utilizado a continuación para hacer mover unas turbinas convirtiendo la energía cinética de las turbinas en electricidad. Suelen contar con calderas auxiliares de fuel-oil, biomasa o gas que se activan de manera automática cuando las condiciones solares no son óptimas.

En función de su utilidad, se pueden llegar a emplear distintos tipos de receptores o colectores solares. Existen helióstatos que a partir de espejos, son capaces de seguir en todo momento la posición del sol para maximizar y concentrar la radiación solar en un absorbedor para obtener de esa manera temperaturas superiores a los 2000°C.

Otros tipos de colectores son los cilíndricos parabólicos. Pueden llegar a alcanzar los 425°C y su funcionamiento está basado en el empleo de espejos cilíndricos parabólicos que reflejan la radiación solar directa sobre un tubo receptor por el cual circula un fluido caloportador.

3.2.2.- INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS DE MEDIA TEMPERATURA.

Este tipo de instalaciones son las empleadas en la desalinización de agua de mar y producción de fluidos térmicos para procesos naturales. Son muy útiles para estos dos casos ya que las temperaturas alcanzadas por el fluido caloportador oscila entre los 90°C y los 250°C.

Otra posible aplicación se encuentra en las viviendas unifamiliares cuyo objetivo es el de cubrir más del 90 % del consumo de agua caliente, así como gran parte de calefacción. Para ello, la energía solar térmica de media temperatura emplea tubos de vacío que concentran muy eficientemente la radiación solar llegando a alcanzar temperaturas capaces de superar los 100°C. También se puede aplicar en instalaciones de suelo radiante. El mayor inconveniente de los tubos de vacío frente a los colectores solares es su alto precio. De esta manera, para la que el presupuesto del proyecto salga viable económicamente se han escogido colectores solares planos (mayormente empleados en instalaciones de baja temperatura).

3.2.3.- INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS DE BAJA TEMPERATURA.

Como se ha visto en apartados anteriores, este tipo de instalaciones son las más extendidas destinadas a un amplio rango de aplicaciones que cuya temperatura no exige superar los 90°C. Algunas de ellas pueden ser para la producción de agua caliente sanitaria, apoyo o incluso calefacción de viviendas y edificios, suelo radiante, piscinas climatizadas, etc....

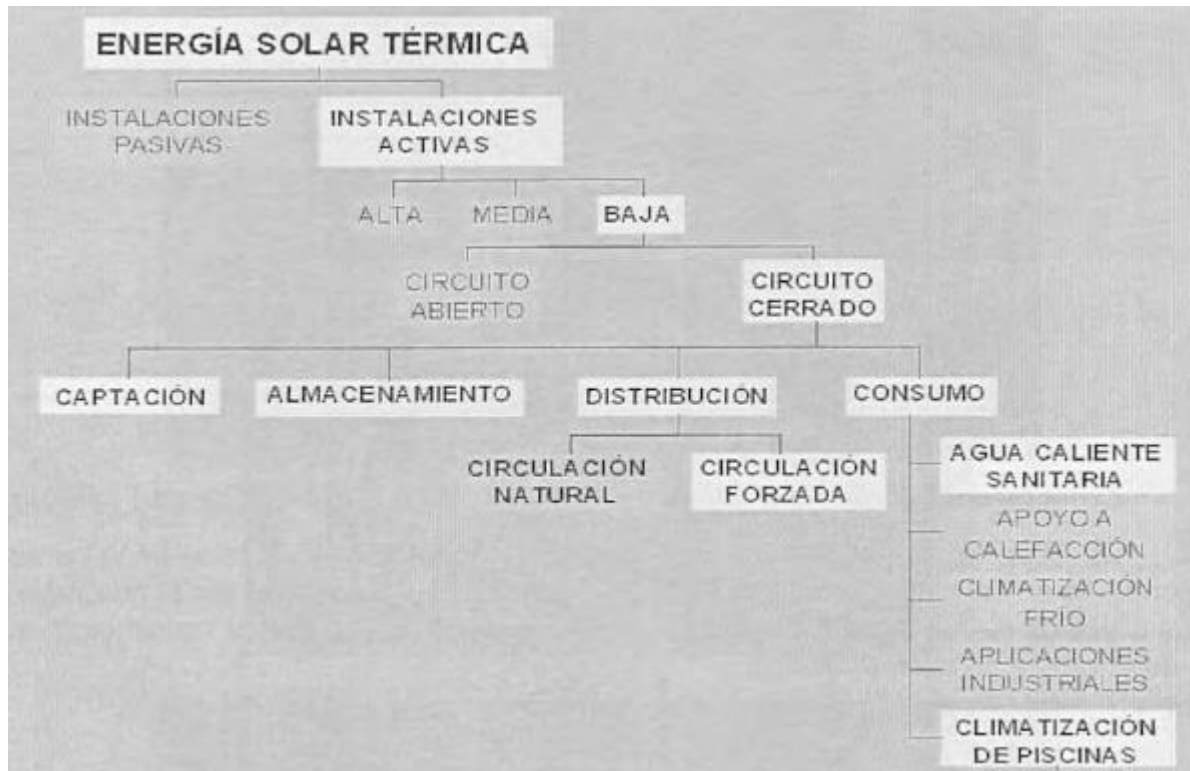


ILUSTRACIÓN 9: APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA (20).



4.- DESCRIPCIÓN DE INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA

Para aprovechar la energía calorífica del sol existente en la radiación infrarroja, las instalaciones térmicas de baja temperatura emplean colectores solares planos para condensar dicha radiación que será finalmente transferida al líquido caloportador.

Dicha energía radiante, antes de ser convertida en calor útil, deberá atravesar un número determinado de capas de vidrio o transparentes. La función de estas capas es fundamental ya que además de proteger el propio colector, son capaces de aumentar la temperatura del fluido de trabajo mediante el efecto invernadero.

En el esquema del apartado anterior, las instalaciones solares térmicas de baja temperatura se pueden clasificar en circuito abierto o cerrado. Este último será el tomado como objeto de estudio para el proyecto.

4.1.- CIRCUITO CERRADO.

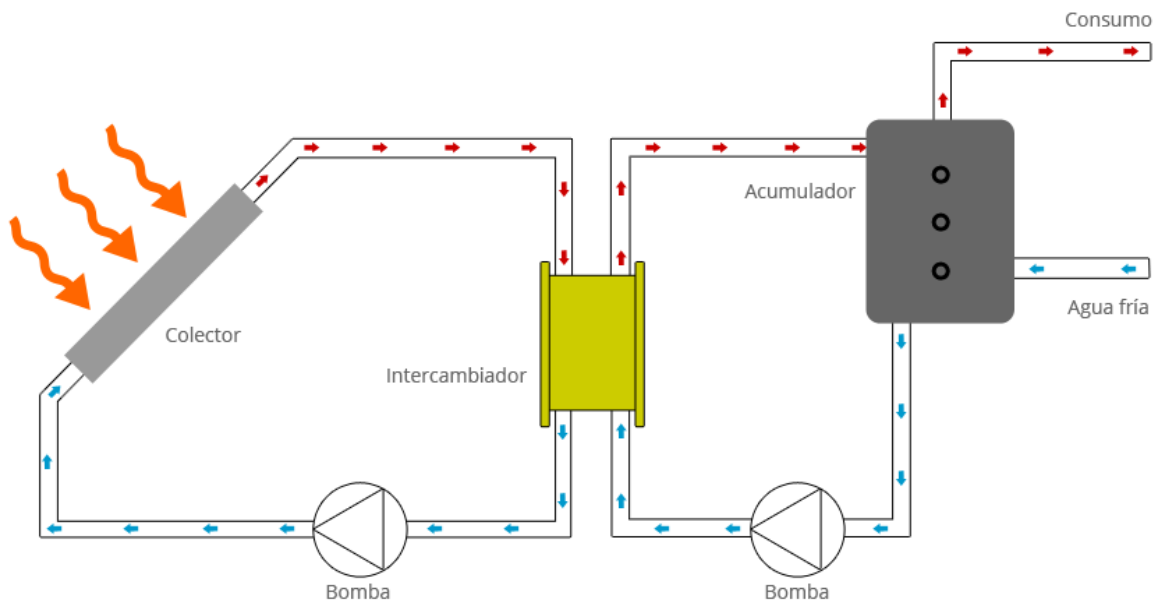


ILUSTRACIÓN 10: ESQUEMA BÁSICO HIDRAÚLICO DE CIRCUITO CERRADO

El siguiente esquema es el más común y representativo dentro de las instalaciones de circuito cerrado. En ella se distingue el primario (izquierda) y el secundario (derecha). Por el



circuito primario circulará el fluido caloportador, que previamente habrá sido calentado a partir de la radiación procedente del sol.

Para el tipo de instalaciones que se va a manejar, se alcanzará como máximo una temperatura de 90^o C. En su paso por el intercambiador, realizará una transferencia térmica con el agua circulante en el secundario. Esta se irá almacenando en forma de agua caliente en el acumulador donde podrá ser empleada para los distintos tipos de aplicaciones (ACS y suelo radiante). Ambos circuitos cuentan con sendas bombas de impulsión que se encuentran constantemente activas manteniendo la circulación de los fluidos.

4.2.- COMPONENTES.

A continuación se procederá a la descripción de una forma más amplia de los principales componentes en este tipo de diseños de captación de energía solar. Este debe desarrollarse de tal manera que se facilite el montaje y desmontaje de cualquiera de los componentes de la instalación.

4.2.1.- SISTEMAS DE CAPTACIÓN SOLAR.

Son los encargados de calentar el fluido del primario a partir de la captación de la energía solar térmica. En el mercado se encuentran disponibles un surtido grupo de ellos (22):

- Colector sin cubierta (50-60€/m²)
- Colector plano (600€/m²)
- Colector compacto
- Colectores (tubos y planos) de vacío (1300€/m²)

Todos ellos tienen un punto en común en su mecánica de funcionamiento: el efecto invernadero a partir del cual se transforma la radiación solar en energía térmica.

Por otro lado, existe un amplio abanico en cuanto al uso de materiales para la construcción de los colectores solares: acero, plástico, aluminio, cobre, etc...

Para el presente proyecto, se seleccionará el colector solar plano ya que es el que mejores prestaciones y viabilidad va a ofrecer si se atiende a la relación precio-rendimiento. Mediante los tubos de vacío, se obtendrían menores pérdidas dada la mejor tecnología de la que disponen, pero en términos de viabilidad económica no se contemplarán para este tipo de diseño en concreto.

4.2.2.- COLECTOR SOLAR PLANO.

Los colectores solares planos funcionan una vez que la radiación solar incide sobre ellos y es captada por la superficie absorbente. Esta última se encuentra en contacto continuo con las tuberías de circulación interior por las que pasa el fluido caloportador al que transferirá la energía térmica acumulada.

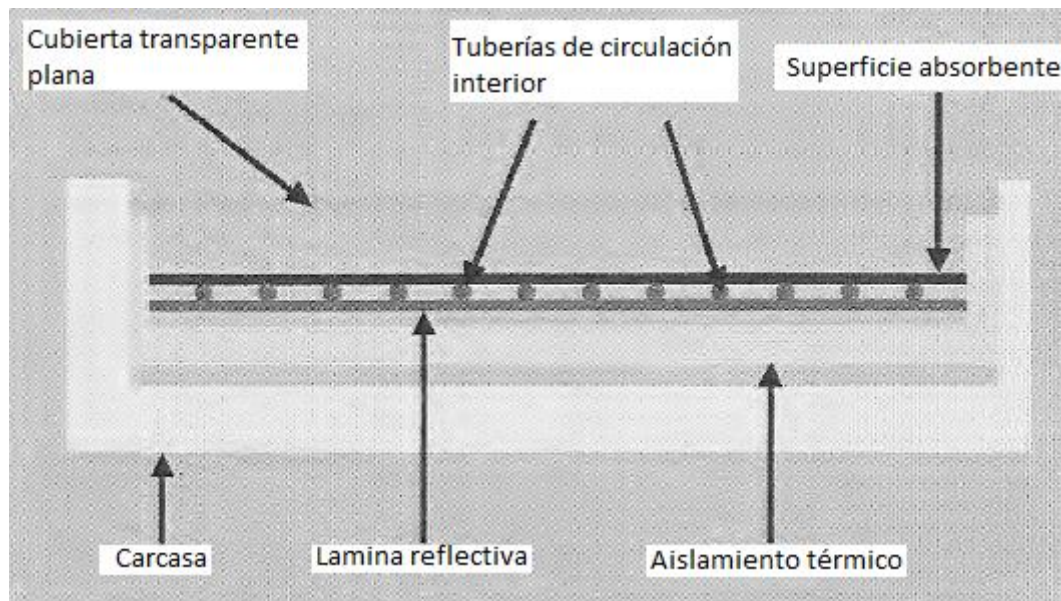


ILUSTRACIÓN 11: ELEMENTOS COLECTOR SOLAR PLANO (20)

Los colectores solares planos están formados por los siguientes elementos:

Cubierta transparente:

Por lo general, el material empleado por las cubiertas transparentes suele ser el vidrio ya que no transmite por conducción el calor absorbido en la placa.

Sus principales objetivos son los siguientes:

- Evitar la pérdida de radiación infrarroja hacia el exterior. Para ello, permite que la radiación solar atraviese la cubierta, sin que la radiación emitida por el absorbedor salga al exterior.
- Disminuye las pérdidas térmicas del absorbedor por convección. La cámara de aire existente entre el absorbedor y la cubierta reduce las pérdidas por convección al evitar el contacto directo del absorbedor con el ambiente exterior.
- Protege a los elementos internos de los efectos del medio ambiente.
- Asegura la estanqueidad del colector al agua y al aire, en unión con la carcasa y las juntas.

Un aspecto crucial, es la utilización de vidrios templados de bajo contenido en hierro, ya que de esta manera se mejoran las propiedades de transmisión del colector. Estos tendrán que tener un espesor nunca inferior a 3 mm para evitar su quebrantamiento. El vidrio es un material caro, por lo que para no encarecer el coste de la instalación, únicamente se colocará una sola cubierta del mismo.

Al mismo tiempo, las cubiertas transparentes han de ser resistentes y duraderas para garantizar un buen funcionamiento del colector a lo largo de su vida útil. El empleo de vidrio la prolongará en mayor medida que el plástico.

Absorbedor:

En él, la radiación proveniente del sol se transforma en energía térmica. Se trata de una superficie plana constituida por una lámina o varias aletas metálicas unidas al circuito por donde circula el fluido caloportador al que transmitirá el calor. A parte de su gran conducción, con las superficies metálicas se evitará el uso de plásticos.

Las características ópticas del absorbedor (emisividad, absorbancia y reflectancia) serán fundamentales a la hora de evaluar el rendimiento del absorbedor. En función del tipo de tratamiento, los absorbedores pueden ser presentados con pinturas negras especiales o con tratamientos selectivos absorbentes.

Rendimiento óptico	(η_{0A})	0.78
Coefficiente pérdida de calor K1	(α_{1A})	4.39 W/m ² K
Coefficiente pérdida de calor K2	(α_{2A})	0,01 W/m ² K ²

$$h_A = h_{0A} - \alpha_{1A} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - \alpha_{2A} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$

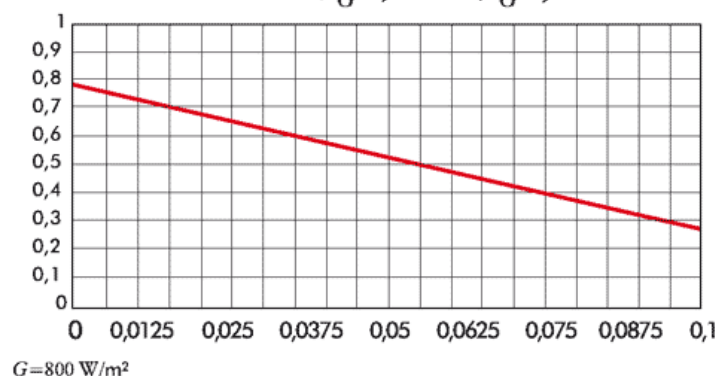


ILUSTRACIÓN 12: EJEMPLO DE CURVA DE RENDIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR PLANO

Los más empleados suelen ser a base de óxido de titanio y el tratamiento a base de cromo negro. Son muy útiles para condiciones de radiación baja o altas temperaturas, ya que se está trabajando en la parte derecha de la curva de rendimiento del colector.



Por último, el captador deberá contar en su diseño con un orificio de cómo mínimo 4 mm de diámetro para poder eliminar cualquier líquido o agua que haya podido quedarse retenida, siempre y cuando no afecte a sus funciones principales.

En la actualidad se dispone de distintas configuraciones de superficie absorbente en los colectores térmicos, y en función de la disposición de la placa absorbedor sobre los tubos. Estos son en forma de parrilla de tubos o de tipo serpentín como ya se incidirá posteriormente.

Aislamiento:

Es fundamental dotar de un buen aislante térmico aquellas partes del colector que van a estar en contacto directo con el sol el mayor tiempo posible. Por ello, se coloca en los laterales y en el fondo de la carcasa para disminuir las pérdidas térmicas por conducción.

Los primeros colectores se aislaban con espuma de poliuretano. Sin embargo, en la actualidad los materiales más empleados para tal efecto son la lana de roca y/o polisocianurato. Estos nos proporcionarán un grandísimo rendimiento independientemente de la temperatura, así como bajos desprendimientos de vapores a causa de calentamientos muy elevados.

Tuberías de circulación interior:

Existen dos tipos de configuraciones de las tuberías interiores que pueden ser tubulares o de serpentín. En el diseño de la instalación se empleará la tubular ya que es con la que se obtienen menores pérdidas debido al menor tiempo de residencia del fluido caloportador. Esto permitirá precisar del menor número de colectores posible.

El material del que están estos contruidos es de cobre sin olvidar en ningún momento que los niveles de pH del fluido caloportador han de estar comprendidos entre 7,2 y 7,6. El hierro no se empleará en ningún caso debido a las reacciones de oxidación a las que puede verse sometido.

Carcasa:

Su misión es la contener al resto de elementos del captador solar, protegiéndolo de los agentes externos medioambientales (resistencia a las variaciones de temperatura, corrosión y a la inestabilidad química) y otorgándole gran rigidez al conjunto. El material a emplear será aluminio, aunque para soluciones de menor coste se podrá emplear elementos de menor calidad.

Un elemento de suma importancia en la carcasa es la junta de la cubierta, la cual dota de estanqueidad a la unión entre la cubierta y la carcasa, protegiéndola al mismo tiempo de contracciones y dilataciones que puedan afectar a sus propiedades.



A parte de dar rigidez al conjunto, otras de las misiones de la carcasa es la de evitar la presencia de agua en el interior para evitar cualquier tipo de corrosión de elementos internos, así como condensaciones bajo el cristal.

El montaje de los colectores es un aspecto fundamental por lo que habrá que tomar las medidas y precauciones necesarias para evitar cualquier tipo de fallo. Las principales averías de los colectores solares suelen ser las siguientes:

- Entrada de agua en el captador.
- Corrosión del absorbedor
- Degradación del tratamiento del absorbedor.
- Rotura de la cubierta.
- Degradación del material de las juntas.

Fluido caloportador:

La circulación del fluido caloportador será única y exclusivamente en el circuito primario. Al atravesar el absorbedor, captará la energía térmica acumulada del sol elevando su temperatura. Posteriormente, a su paso por el intercambiador se producirá una transferencia de temperatura entre el fluido y el agua del secundario que es la que se pretende calentar.

Para tal efecto, se suele utilizar agua desmineralizada, agua con anticongelantes (propilenglicol y etilenglicol), líquidos orgánicos sintéticos y aceites de silicona. En el diseño de la instalación se utilizará el propilenglicol Ecoglicol Plus FLD, ya que de esta manera el agua puede resistir temperaturas sin llegar a su solidificación de hasta -60°C . Los anticongelantes están formados fundamentalmente por glicoles que al mismo tiempo tienen la ventaja de que no se evaporan al mezclarlos con agua.

Tanto el propilenglicol como el etilenglicol son anticongelantes tóxicos por lo que se deberá evitar a toda costa cualquier tipo de trasvase de este al secundario. Como medida preventiva, nunca se deberán alcanzar temperaturas superiores a 120°C ya que a partir de estos niveles pueden ser altamente corrosivos y dañarían la estructura interna de la instalación.

Además de ser muy viscoso, al mezclar anticongelante con agua se provoca una mayor dilatación térmica del agua por lo que deberá tenerse este aspecto muy en cuenta a la hora de dimensionar el vaso de expansión. Como norma general las proporciones serán un 35% anticongelante y un 65% agua (soporta temperaturas de -20°C).

4.2.3.- ESTRUCTURAS SOPORTE.

Su función es la de sostener y reforzar a los colectores solares y al circuito hidráulico de aquellos agentes externos que puedan dañarlos (fuertes vientos, ambientes corrosivos,...). Para el caso objeto de este estudio se buscará una estructura de soporte que permita montarlo y desmontarlo con rapidez, a bajo coste y la máxima seguridad.

El objetivo es que la durabilidad de los colectores, de cara a la rentabilidad económica, es que posean una vida útil de como mínimo 20 años. Los materiales más empleados para cumplir la función de soporte estructural son el acero galvanizado en caliente, el aluminio y el acero inoxidable.

De cara a no superar las flexiones máximas recomendadas por el fabricante se dimensionará la instalación para ser capaz de soportar presiones y fuerzas de vientos de más de 170 km/h. Con este dimensionamiento, se cubriría el viento máximo histórico recogido en Getafe de 126 km/h.

El tipo de anclaje variará en función de la posición de los colectores (cubierta o terraza). Para la sujeción de colectores sobre cubiertas inclinadas se empleará un carril y pletinas con sus respectivos accesorios de fijación.

4.2.4.- CIRCUITO HIDRÁULICO: CRITERIOS DE DISEÑO.

Para la realización del conexionado hidráulico de los elementos se usará el cobre. Sus características metálicas lo hacen ideal debido a las altas temperaturas y presiones que se soportan en la instalación (hasta 90°C y 10 bares) aparte de ser uno de los elementos de montaje más económicos.

El cobre posee una gran resistencia a la corrosión, maleabilidad y ductilidad. Al mismo tiempo, puede ser soldado fácilmente y ofrece una menor pérdida de carga frente a otros compuestos (permite emplear diámetros menores para llevar una determinada cantidad de agua).

Como recomendaciones de diseño de tuberías se deberá evitar la formación de sifones y en ningún caso se disminuirá la velocidad de circulación del fluido de las tuberías en 0,6m/s. La máxima velocidad se obtiene en el colector primario del vestíbulo y aseo de la planta baja alcanzándose un valor de 0,146 m/s. También, la pendiente de los tramos horizontales de tubería debe tener un 1% como mínimo para favorecer en todo momento la circulación.

4.2.5.- ACUMULADORES: MATERIALES, DISEÑO, FUNCIONAMIENTO, TIPOS.

El agua circulante en el secundario, tras ser calentada previamente por el fluido caloportador del primario, se irá acumulando progresivamente en un depósito de agua caliente llamado acumulador. Posteriormente, esta agua será destinada al uso doméstico que se crea conveniente.

Estos pueden ser de acero inoxidable, acero vitrificado, acero con tratamiento epóxico, acero negro fibra de vidrio y plástico reforzado. Por ello, es muy común ver acumuladores de acero. Sin embargo, y teniendo en cuenta la normativa del CTE, precisarán de protección interior en forma de pinturas especiales y protección catódica para evitar su corrosión. También, pese a ser costosos a la larga ofrecerán altas prestaciones en cuanto a resistencia y durabilidad.

Suelen ser cilíndricos, siendo su altura mayor que el diámetro (dos veces como mínimo según el CTE) para favorecer el fenómeno de estratificación. De esta manera de la parte más alta se obtendrá el agua de consumo, y de la parte más baja se irá hacia el colector solar gracias a su vertical distribución de las temperaturas. Para la producción de ACS y suelo radiante se utilizarán acumuladores de configuración vertical para mejorar la circulación interior del agua. Para la vivienda se escogerá un acumulador con serpentín de 150 litros.

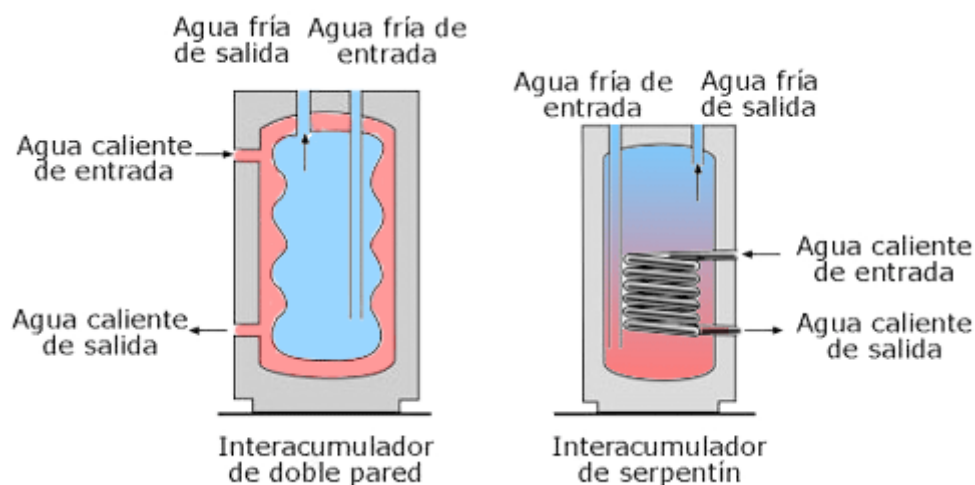


ILUSTRACIÓN 13: INTERCONEXIONADO DE AGUA EN EL ACUMULADOR

Los conexiones de agua al acumulador se harán de abajo a arriba siguiendo este orden:

- 1) Agua fría de red.
- 2) Salida del secundario
- 3) Recirculación
- 4) Entrada al secundario
- 5) Salida de consumo para agua caliente sanitaria.



Una correcta circulación y diseño de las conexiones evitará la circulación de fluidos por caminos auxiliares que provoquen una mala estratificación o calentamientos desiguales del agua.

El volumen de acumulador necesario vendrá dado por los requerimientos de nuestra instalación. Como norma general, según el CTE se suelen emplear 50 litros por cada metro cuadrado de colector. Al mismo tiempo, para diferencias entre captación y consumo no superiores a 24 horas el volumen óptimo del acumulador rondará entre los 60 y 90 litros por cada metro cuadrado de colector.

El correcto dimensionado del acumulador será crucial ya que si se sobrepasa la cantidad de agua acumulada no se alcanzará a calentar de manera precisa el agua del depósito. En cambio, un almacenamiento pobre de agua podrá llegar a provocar sobrecalentamientos en la instalación.

El problema más común en los acumuladores es la degradación del tratamiento de protección interior, favoreciendo la creación del fenómeno corrosivo, por lo que es importante contrastar calidades y fabricantes.

Al mismo tiempo se intentará ubicar el acumulador dentro de un recinto cerrado para intentar disminuir en la medida de lo posible las pérdidas de calor, ya que en el exterior estas se acrecientan. En la medida de lo posible estos deberán situarse lo más cerca posible del campo de colectores y con el aislante preciso.

Tanto para el acumulador como para el resto de la instalación que puedan tener sensibles pérdidas caloríficas, los aislantes que se instalarán serán el poliuretano, fibra de vidrio y espumas elastoméricas.

Para los tubos que discurran por el exterior que serán los pertenecientes al circuito primario, el espesor del aislante será en torno a 40 mm. Sin embargo para las tuberías que discurrirán por el secundario el espesor del aislante de los tubos será de 30 mm aproximadamente al igual que para los depósitos acumuladores e intercambiadores de calor.

Para el tipo de instalación que se pretende diseñar (volumen del depósito inferior a 1000 litros) el tipo de acumulador más empleado el de acero vitrificado.

La normativa vigente, para depósitos cuya capacidad sea inferior a 300 litros el aislante deberá tener un espesor mínimo de 30 mm.

4.2.6.- BOMBAS DE CIRCULACIÓN.

Se emplean tanto en los circuitos primarios como en los secundarios para el transporte del fluido desde los colectores hasta el almacenamiento y los puntos de consumo.

La ubicación de la bomba en el circuito primario se realizará en el tramo de entrada de las tuberías (con el eje de rotación en sentido horizontal) en dirección a los colectores solares ya que las temperaturas son más frías. Esta es una manera de proteger a las bombas, debido a que pueden existir determinados momentos puntuales en lo que se alcancen temperaturas superiores a los 100°C.

Como es natural, en función de la actividad de la instalación solar, las bombas de circulación se verán sometidas a paradas y arranques continuos por lo que deberán estar preparadas y dimensionadas para dicha demanda.

Como se observa en la gráfica, dos factores fundamentales para la elección de la bomba serán la presión o pérdida de carga y el caudal. Por lo tanto, será en función de estos dos parámetros a partir de los cuales se realizará la elección de la bomba (controlando que ambos se encuentren dentro de la zona de trabajo proporcionada por el fabricante).

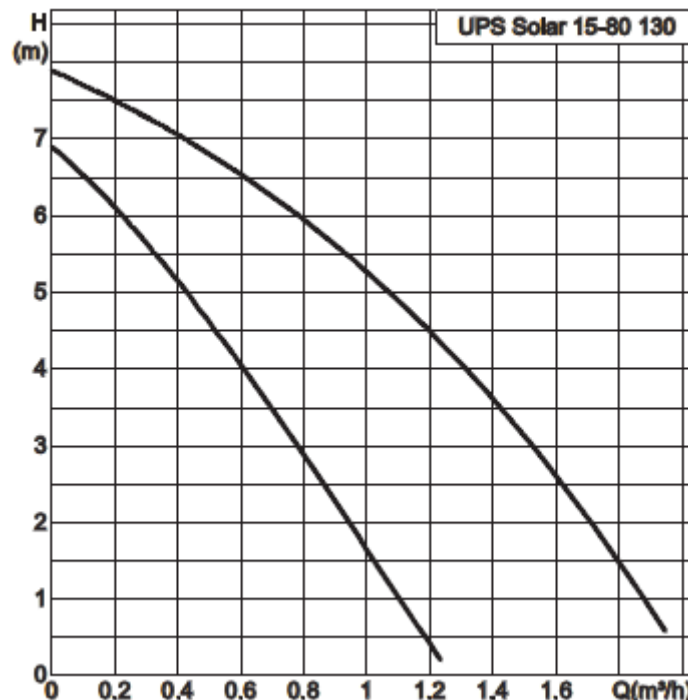


ILUSTRACIÓN 14: CURVA DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA (1)

4.2.8.- INTERCAMBIADORES

La función principal de los intercambiadores de calor será la de favorecer la transferencia térmica entre el fluido caloportador circulante en el primario y el agua que posteriormente será destinada a consumo del secundario, sin llegar a mezclarse en ningún momento.

Los dos materiales más empleados para tal efecto son el acero inoxidable y el acero esmaltado o vitrificado. El cobre en cambio es empleado para la fabricación de serpentines como se estudiará más adelante.

Los dos parámetros fundamentales a partir de los cuales se definen las prestaciones de los intercambiadores son la eficacia, potencia térmica y su rendimiento. En lo que se refiere a su aislamiento, el espesor del mismo no deberá ser inferior a 20 mm.

Según el CTE rendimiento nunca deberá ser inferior al 95%, mientras que su eficacia siempre se deberá mantener por encima de niveles superiores a 0,7.

El tipo de intercambiadores usados para ámbito doméstico en ACS, son los internos. Estos van incorporados al depósito acumulador. Para nuestra vivienda se usará el de serpentín.

4.2.9.- ELEMENTOS DE CONTROL, ACCIONAMIENTO Y SEGURIDAD (CRITERIOS DE DISEÑO)

Depósitos de expansión

Su misión principal es la de absorber las dilataciones del fluido caloportador compensando sus cambios de volumen a causa de la dilatación térmica. Y es que al calentarse el circuito primario, parte de fluido es dirigido hacia el vaso de expansión retornando posteriormente al circuito cuando haya reducido su temperatura. De esta manera se mantiene la presión de seguridad entre unos niveles óptimos de funcionamiento, impidiendo a su vez la introducción de aire en el circuito cuando este vuelve a enfriarse.



ILUSTRACIÓN 15: VASO DE EXPANSIÓN



Está compuesto por dos cámaras separadas por una membrana. Una de ellas tiene conexión directa con el circuito mientras que la otra se encuentra llena de aire. Para los casos más desfavorables (bajo consumo y alta irradiación solar) se sobredimensionarán los vasos de expansión aproximadamente un 20% del total de líquido anticongelante.

En sistemas abiertos, se emplearán vasos de expansión abiertos que permitirán tanto purgar el aire como alimentar el circuito. Estarán localizados en la aspiración de la bomba para evitar cualquier inmersión de aire en el circuito.

Válvulas de seguridad

Su misión es la de impedir o controlar el paso del fluido por una tubería. Según el apartado 3.4.6 de la Sección HE4 del CTE destinado a tal efecto se muestra los siguientes criterios que se han de seguir para la elección de válvulas (5):

- a) Para aislamiento: válvulas de esfera;
- b) Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento;
- c) Para vaciado: válvulas de esfera o de macho;
- d) Para llenado: válvulas de esfera;
- e) Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho;
- f) Para seguridad: válvula de resorte;
- g) Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

Purgadores de aire

Su misión será la de eliminar del circuito cualquier tipo de gas que haya en su interior. Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Los purgadores automáticos deben soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador y en cualquier caso hasta 130⁰ C en las zonas climáticas I, II y III, y de 150⁰ C en las zonas climáticas IV y V. En consonancia con los purgadores también se suelen emplear desaireadores para favorecer la expulsión de los gases.

Válvulas de paso

Su función es la de interrumpir el paso del fluido en el punto del circuito que más nos interese. No afectan negativamente al conjunto ya que su pérdida de carga es mínima.



Válvulas antirretorno

Limitan el paso de la corriente a un solo sentido. Al igual que las válvulas de paso apenas producen pérdidas de carga

Manómetros caudalímetros y termómetros

Se encontrarán distribuidos en distintos puntos del circuito hidráulico y nos permitirán controlar los niveles de presión del circuito en todo momento, así como el caudal circulante y su temperatura.

Se emplearán termómetros de inmersión ya que al ir dentro de las propias tuberías o el acumulador se proporcionarán mediciones más exactas y fiables.

Termostatos diferenciales

Mediante dos sondas de temperatura, controlarán la puesta en marcha y parada de las bombas de circulación. Una de ellas estará en los colectores solares (controlando el circuito primario) mientras que la otra se situará en el acumulador (circuito secundario).

Como norma general, se programarán de tal manera que nunca estén paradas con diferencias de temperaturas que sobrepasen los 7^o C y la temperatura del depósito sea inferior a 60^o C, ni en funcionamiento con diferencias de temperatura inferiores a los 2^o C. Al mismo tiempo, si la temperatura del depósito ya ha alcanzado los 60^o C se detendrá.

Equipos de disipación de energía.

Según el Documento Básico HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, el dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y no más de tres meses el 100%. Esta circunstancia se suele dar en los meses de verano.

Una posible solución pudiera ser el tapado de los colectores solares mediante lonas. De esta manera, a partir del circuito primario se irá disipando el excedente térmico sobrante.

En el caso de disponer de piscina climatizada, se podría destinar dicho calor a la climatización de la misma. Otra medida sería mediante el vaciado parcial de la mezcla de anticongelante del circuito primario. Teniendo que ser repuesto posteriormente con las mismas proporciones de mezcla que al principio.



5.- APLICACIÓN PRÁCTICA

5.1.- DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA (PLANOS, MATERIALES, ORIENTACIÓN)

Se trata de una vivienda unifamiliar independiente con orientación Oeste-Este ubicada en Getafe (Madrid) en una parcela de 500 m² con 2 plantas habitables de 82,51 m² en planta baja y 75,77 m² en planta primera.

La casa (Anexo I) cuenta con once dependencias calefactables para las que se hará la estimación de energía calorífica necesaria. A su vez, se dispone de sótano cuya misión será la de alojar tanto la caldera, intercambiador y depósito acumulador así como los componentes principales del circuito hidráulico.

La ubicación de las placas solares se realizará en la cara sur de la cubierta con un ángulo de inclinación de 40° evitando así cualquier pérdida de radiación relativa a la orientación por tanto no serán objeto de cálculo de cara al dimensionamiento de la instalación.

A continuación se procederá al dimensionamiento y cálculo de los distintos componentes de nuestra instalación de energía solar térmica que permitirá hacer viable la instalación de calefacción en nuestra vivienda.

La parte habitable de la vivienda cuenta con un total de 158,28 m² cuyo desglose se puede ver en la siguiente tabla:

Habitación	As(m ²)	Amuro (m ²)	Superficie acristalada (m ²)				Puerta (m ²)
			Sur	Norte	Este	Oeste	
Cuarto de estar	26,65	35,515	-	-	-	2,16	4
Salón	27,83	34,285	-	-	2,16	-	1,68
Aseo	1,92	8,64	-	0,96	-	-	-
Baño 1 1ªP	5,24	11,79	-	0,96	-	-	-
Baño 2 2ªP	4,63	4,09	-	0,96	-	-	-
Dormitorio1	21,66	27,465	-	-	2,16	-	-
Dormitorio2	18,95	21,265	2,16	-	-	-	-
Dormitorio3	25,29	35,29	2,16	-	-	2,16	-
Vestíbulo P1	3,91	-	-	-	-	-	-
Cocina	12,61	24,965	2,16	-	-	-	1,68
Vestíbulo	13,5	4,49	1,2	-	-	-	2,76
Total	158,28	-	-	-	-	-	-

TABLA 2: DESGLOSE DE SUPERFICIES DE LA VIVIENDA

Todas las mediciones de las dos plantas se han hecho mediante el soporte del programa AUTOCAD MECHANICAL 2012.

5.2.- DATOS GEOGRÁFICOS

5.2.1- UBICACIÓN

Como punto de partida será preciso enmarcar la posición geográfica exacta en la que se encuentra Getafe:

- Latitud: 40° 17' 58" N
- Altitud: 620 m
- Longitud: 3° 43' 20"

5.2.2.- ZONA CLIMÁTICA:

Un aspecto fundamental, será identificar en función del CTE la zona climática en la que se encuentra ubicada Getafe. Como se especifica en el código técnico esta clasificación por zonas se realiza en función de la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal. Ella nos servirá como punto de partida para futuros cálculos como se demostrará posteriormente.

Documento de Apoyo al DB HE

DA DB HE / 1

Provincia	Municipio	Código INE	Zona Climática
MADRID	Coberña	28041	IV
	Colmenar del Arroyo	28042	IV
	Colmenar de Oreja	28043	IV
	Colmenarejo	28044	IV
	Colmenar Viejo	28045	IV
	Collado Mediano	28046	IV
	Collado Villalba	28047	IV
	Corpa	28048	IV
	Coslada	28049	IV
	Cubas de la Sagra	28050	IV
	Chapinería	28051	IV
	Chinchón	28052	IV
	Daganzo de Arriba	28053	IV
	Escorial (El)	28054	IV
	Estremera	28055	IV
	Fresnedillas de la Oliva	28056	IV
	Fresno de Torote	28057	IV
	Fuenlabrada	28058	IV
	Fuente el Saz de Jarama	28059	IV
	Fuentidueña de Tajo	28060	IV
	Galapagar	28061	IV
	Garganta de los Montes	28062	III
	Gargantilla del Lozoya y	28063	III
	Pinilla de Buitrago	28064	III
	Gascones	28065	III
	Getafe	28065	IV

TABLA 3: ZONA CLIMÁTICA DE GETAFE (IV) (5)

5.2.3.- RADIACIÓN

Como se comenta en el punto anterior, esta distribución por zonas atiende a la captación solar total sobre superficie horizontal. Según el CTE el criterio tomado en cuenta para hacer dicha ordenación se tiene en consideración a partir de la siguiente tabla de valores de radiación (H):

Zona climática	MJ/m ²	kWH/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H \leq 15,1$	$3,8 \leq H \leq 4,2$
III	$15,1 \leq H \leq 16,6$	$4,2 \leq H \leq 4,6$
IV	$16,6 \leq H \leq 18$	$4,6 \leq H \leq 5$
V	$H \geq 18$	$H \geq 5$

TABLA 4: CRITERIO DE SELECCIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS EN FUNCIÓN DE LA RADIACIÓN (5)

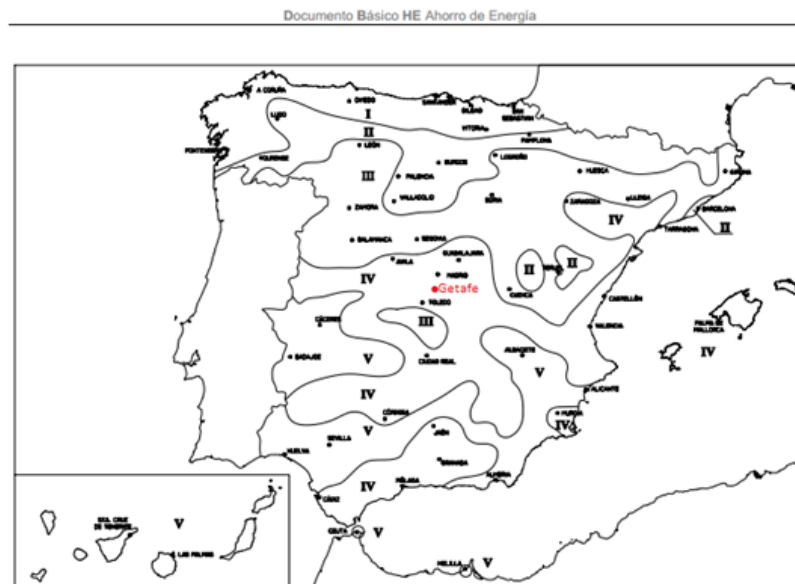


ILUSTRACIÓN 16: ZONA CLIMÁTICA DE GETAFE (IV) (5)

5.2.4.- DATOS CLIMATOLÓGICOS

Los principales datos climatológicos se han obtenido de la Agencia Estatal de Meteorología AEMET (2):

- Temperatura media mensual ambiente: 15,74°C
- Temperatura media mensual del agua de red.
- Temperatura mínima histórica: -12.0 (05 feb 1963)
- Temperatura máxima histórica: 41.6 (24 jul 1995)
- Humedad relativa media: 62,66%
- Velocidad media del viento: 11.6 km/h
- Velocidad máxima de viento y dirección: Vel 126 km/h,(30 dic 1981 14:15)

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	5.7	10.4	1.0	34	76	6	1	0	6	14	8	147
Febrero	7.5	12.6	2.3	31	69	6	1	0	3	7	5	168
Marzo	10.2	16.2	4.2	25	58	5	0	1	1	3	6	217
Abril	12.1	17.9	6.2	41	57	6	0	1	0	1	4	224
Mayo	16.0	22.3	9.8	44	53	7	0	4	0	0	5	275
Junio	21.3	28.2	14.4	26	44	4	0	4	0	0	8	315
Julio	25.2	32.7	17.7	13	36	2	0	3	0	0	17	360
Agosto	24.8	32.2	17.4	11	38	2	0	2	0	0	15	338
Septiembre	20.7	27.4	14.0	26	48	3	0	2	0	0	8	238
Octubre	14.8	20.3	9.3	40	63	6	0	1	1	0	5	204
Noviembre	9.5	14.4	4.6	47	73	6	0	0	4	4	6	156
Diciembre	6.6	10.8	2.5	50	79	7	0	0	6	10	5	115
Año	14.5	20.4	8.6	389	58	60	2	17	22	38	80	2761

TABLA 5: HISTÓRICO DE DATOS DE GETAFE. FUENTE:AEMET

6.- CARGAS TÉRMICAS.

6.1.-CARGAS DE CALEFACCIÓN.

Para el dimensionamiento del suelo radiante, así como del número de colectores solares térmicos se procederá al cálculo de carga térmica de nuestra vivienda unifamiliar. Esto permitirá determinar la potencia de calentamiento requerida para mantener nuestra vivienda a 21°C en los meses que se precisa de calefacción.

Las cargas térmicas que afectan a la instalación serán por transmisión, ventilación e infiltración y se dividen en dos grupos: sensible y latente.

- Sensible: por incrementos de temperatura
- Latente: debido a incrementos de humedad

Se descarta el cálculo de las cargas internas ya que se deberían únicamente incluir para el caso de refrigeración de la vivienda. Se tomarán como apoyo los apuntes de Calor y Frío Industrial (Antonio Soria), 5º Ingeniería industrial. (23)

6.1.1 CARGAS POR TRANSMISIÓN

Se define como la carga sensible transmitida al interior del edificio por conducción a través de los cerramientos.

0

$$Q_t = U \cdot A \cdot (T_{int} - T_a) \quad (3)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_j \frac{e}{k} + \frac{1}{h_e}} \quad (4)$$

Q: carga térmica (W)

U: coeficiente global de transferencia de calor (W/m²·°C)

A: área de transferencia (m²)

T_{int}: Tª interior (°C)

T_a: Tª ambiente (°C)



h: coeficiente de convección ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$)

k: coeficiente de conducción ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$)

e: espesor (m)

6.1.2 CARGAS POR VENTILACIÓN

Se trata de la carga derivada de la renovación del aire interior de edificio. El aire exterior introducido será compensado con el mismo caudal de aire extraído o expulsado por ventanas y puertas, con el fin de mantener la misma cantidad de aire seco en el interior del local. La cantidad de calor sensible y latente aportado como carga en forma instantánea se obtiene como:

Carga sensible:

$$Q_{sen} = V_a \cdot \rho_{aire} \cdot c_p \cdot (T_{int} - T_a) \quad (5)$$

Q_{sen} : carga sensible (W)

c_p : calor específico del aire ($\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)

T_{int} : T^a interior ($^\circ\text{C}$)

T_a : temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$)

ρ_{aire} : densidad del aire (kg/m^3)

V_a : caudal de aire (m^3/s)

Carga latente

$$Q_{lat} = V_a \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (W_{int} - W_a) \quad (6)$$

Q_{lat} : carga latente (W)

h_{fg} : entalpía cambio de fase agua (J/kg)

W_{int} : humedad interior

W_a : humedad ambiente

ρ_{aire} : densidad del aire (kg/m^3)

V_a : caudal de aire (m^3/s)



Los criterios de ventilación se indican en la norma UNE-CEN/TR 14788 y en el apartado HS Salubridad (HS 3: Calidad del aire interior). Algunos de los valores ahí indicados, en aplicaciones residenciales, se muestran a continuación (5):

	Caudales de ventilación mínimos exigidos (l/s)		
Tipo de local	Por ocupante	Por m ² útil	Otros parámetros
Dormitorios	5	-	-
Salas de estar y comedores	3	-	-
Aseos y cuartos de baño	-	-	15 por local
Cocinas	-	2	-
Trasteros	-	0,7	-
Aparcamientos y garajes	-	-	120 por plaza
Almacenes	-	10	-

ILUSTRACIÓN 17: CAUDALES DE VENTILACIÓN MÍNIMOS EXIGIDOS (L/S)

6.1.3 CARGAS POR INFILTRACIÓN

Es la debida al aire que entra en el edificio por los intersticios. Es probablemente la carga más difícil de estimar debido a su alto grado de subjetividad. Al igual que el caso de la ventilación, aporta tanto calor sensible como calor latente al local. Los procedimientos de cálculo se resolverán de manera análoga a la ventilación sustituyendo el caudal de ventilación por el caudal de aire infiltrado. Se toma como referencia el manual de aire acondicionado de Carrier para determinar dichos caudales que serán:

- Ventanas: 1,8 m³/h
- Puertas: 2,5 m³/h

6.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALEFACCIÓN

A continuación se procederá al cálculo de las pérdidas por calefacción a las que se ha hecho referencia en los apartados anteriores.

6.2.1.-CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN.

Al igual que sucede para el cálculo de la demanda de ACS, antes de proceder a la estimación de las cargas térmicas se deberá obtener la zona geográfica peninsular en la que se encuentra ubicada la vivienda (5):

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250			h ≥ 250	
Burgos	E1	861																h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100			h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200			h < 700		h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300			h < 800		h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1					h < 250					h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456											h < 100			h < 300	h < 600	h ≥ 600
Pontevedra	C1	77												h < 350			h ≥ 350	

TABLA 6: ZONAS CLIMATICA DE LA PENINSULA IBERICA

Dado que Getafe pertenece a Madrid y se encuentra a 620 m de altitud se selecciona la zona climática D3. En primer lugar se chequeará si los coeficientes globales de transferencia de calor del suelo, del muro y de la cubierta se ajustan y cumplen las condiciones del CTE.

D.2.15 ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,28$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

ILUSTRACIÓN 18: TRANSMITANCIAS LÍMITES EN MUROS, SUELOS Y CUBIERTAS (5).

Una vez se identifica la zona climática, se procede al cálculo de los coeficientes globales térmicos de la vivienda. Estos no han de superar los valores límites propuestos en el CTE.

Coeficiente de transferencia global del suelo U

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,04	0,17

ILUSTRACIÓN 19: RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES DE CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL AIRE EXTERIOR EN $\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (5).

Para el cálculo del coeficiente global térmico del suelo se escoge el segundo caso ya que es el empleado para calefacción. Dado que para la vivienda se instalará en función de las dependencias, parquet o pavimento cerámico, se calcularán sus coeficientes globales térmicos respectivos:

$$R_t = R_{se} + \sum_{\text{capas}} \frac{e}{k} + R_{si} \quad (7)$$

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (8)$$

Coeficiente global térmico pavimento cerámico								
Material Suelo Planta baja	e	K	e/k	$\Sigma(e/k)$	Rse	Rsi	Rs	Us
Pavimento cerámico	0,02	1,30	0,02	1,92	0,04	0,10	2,06	0,48
Mortero de cemento	0,03	1,30	0,02	-	-	-	-	-
Hormigón celular con áridos silíceos	0,04	1,15	0,03	-	-	-	-	-
Poliestireno expandido	0,05	0,03	1,67	-	-	-	-	-
Forjado	0,30	1,65	0,18	-	-	-	-	-

TABLA 7: COEFICIENTE GLOBAL TÉRMICO DEL PAVIMENTO CERÁMICO

Coeficiente global térmico parquet								
Material Suelo Planta primera	e	K	e/k	$\Sigma(e/k)$	Rse	Rsi	Rs	Us
Parquet (FARRANSL)	0,02	0,17	0,09	1,99	0,04	0,10	2,13	0,47
Mortero de cemento	0,03	1,30	0,02	-	-	-	-	-
Hormigón celular con áridos silíceos	0,04	1,15	0,03	-	-	-	-	-
Poliestireno expandido	0,05	0,03	1,67	-	-	-	-	-
Forjado	0,30	1,65	0,18	-	-	-	-	-

TABLA 8: COEFICIENTE GLOBAL TÉRMICO DEL PARQUET

e: espesor (m)

k: conductividad térmica (W/m·°C)

e/k: (m²·°C/W)

Rse: resistencia convectiva exterior (m²·°C/W)

Rsi: resistencia convectiva interior (m·°C/W)

U: coeficiente global térmico (W/ m²·°C)

Pavimento cerámico: $0,48 \text{ W/m}^2 < U_{\text{slim}} = 0,49 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ Es válido

Parquet: $0,454 \text{ W/m}^2 < U_{\text{slim}} = 0,49 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ Es válido.

Coefficiente global térmico para Cubierta

Se procede al cálculo de manera análoga al apartado anterior.

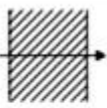
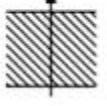

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

TABLA 9: RESISTENCIAS CONVECTIVAS PARA CUBIERTA

Material	e	K	e/k	$\Sigma(e/k)$	Re	Ri	Rtcub	Uc
Hormigón con áridos	0,05	1,16	0,04	2,71	0,04	0,10	2,85	0,35
Bovedilla de hormigón	0,25	1,39	0,18	-	-	-	-	-
Poliestireno expandido	0,08	0,03	2,42	-	-	-	-	-
Yeso	0,02	0,3	0,07	-	-	-	-	-

TABLA 10: CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL TÉRMICO DE LA CUBIERTA

e: espesor (m)

k: conductividad térmica ($\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$)

e/k: ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)

Re: resistencia convectiva exterior ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)

Ri: resistencia convectiva interior ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)

U: coeficiente global térmico ($\text{W/ m}^2\cdot^\circ\text{C}$)

$U_c = 0,35 < U_{\text{clim}} = 0,38 \rightarrow$ Es válido

Coeficiente global térmico del muro exterior

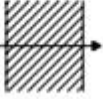
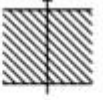
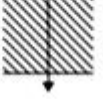
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

ILUSTRACIÓN 20: RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES DE CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL AIRE EXTERIOR EN M²·°C/W

Material	e(m)	K	e/k	Σ(e/k)	Re	Ri	Rt	Um
Enfoscado cemento	0,02	1,14	0,01	1,66	0,04	0,13	1,83	0,55
Ladrillo hueco	0,09	0,52	0,17	-	-	-	-	-
Fibra de vidrio	0,05	0,04	1,25	-	-	-	-	-
Ladrillo hueco	0,09	0,52	0,17	-	-	-	-	-
Yeso	0,02	0,30	0,05	-	-	-	-	-

TABLA 11: CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL TÉRMICO DEL MURO EXTERIOR

e: espesor (m)

k: conductividad térmica (W/m·°C)

e/k: (m²·°C/W)

R_{se}: resistencia convectiva exterior (m²·°C/W)

R_{si}: resistencia convectiva interior (m²·°C/W)

U: coeficiente global térmico (W/ m²·°C)

U_m=0,55 < U_{mlim}=0,66 → Es válido

Coefficiente global térmico de las ventanas

La ventana empleada en la instalación es el modelo REHAU Euro-Design 70 de la marca Tecnomar. Sus características principales se describen a continuación:

Todas las ventajas en resumen:	
Sistema de perfiles de ventana REHAU Euro-Design 70 para edificaciones de calidad	
Aislamiento térmico:	Valor U_f : 1,3 W/m ² K
Profundidad constructiva:	70 mm
Acabado antirrobo:	hasta clase 2 de resistencia
Aislamiento acústico:	hasta clase 4 de protección acústica
Ahorro energético:	reducción de hasta el 75% de pérdida de energía a través de la ventana
– ideal para viviendas energéticamente eficientes tanto de obra nueva como de rehabilitación	
– técnica de 5 cámaras	
– para ventanas y balconeras	

ILUSTRACIÓN 21: CARACTERÍSTICAS VENTANA REHAU EURO-DESIGN 70 (TECNOMAR)

$$U_v = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Puertas

Para la puerta el coeficiente medio global que se emplea para el cálculo en viviendas unifamiliares es:

$$U_p = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Una vez se ha verificado que todos los coeficientes globales térmicos cumplen con los límites exigidos por el CTE se procede al cálculo de al completo de las cargas térmicas.



CÁLCULO DE CARGAS

A partir del RITE (13), se establece la temperatura y humedad a la que debe permanecer calefactada una vivienda unifamiliar durante los meses considerados invernales. Según el punto I.T 3.8.2 la temperatura del aire en los recintos habitables acondicionados se limitarán a los siguientes valores:

- La temperatura del aire en los recintos calefactados no será superior a 21°C cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para generación de calor por parte del sistema de calefacción.
- La temperatura del aire en los recintos refrigerados no será inferior a 16°C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de frío por parte del sistema de refrigeración.
- Las condiciones de temperatura anteriores estarán referidas al mantenimiento de la humedad relativa comprendida entre el 30% y el 70%.

Las limitaciones anteriores se aplicarán exclusivamente durante el uso, explotación y mantenimiento de la instalación térmica, por razones de ahorro de energía, con independencia de las condiciones interiores de diseño establecido en la I.T 1.1.4.1.2 o en la reglamentación que le hubiera sido de aplicación en el momento del diseño de la instalación térmica

Por tanto, para contribuir ha dicho ahorro de energía se seleccionará para invierno una temperatura interior de 21°C con una humedad relativa del 50%.

PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN

Pérdidas por transmisión en el suelo:

$$Q_t = U \cdot A \cdot (T_{int} - T_a) \quad (8)$$

U: coeficiente global térmico del suelo (W/m²·°C)

A: área de la habitación (m²)

T_s: temperatura del suelo (°C)

T_{int}: temperatura interior (°C)

Q_s: carga térmica (W)



Habitación	A	Us	As*Us
Cuarto de estar	26,65	0,49	12,95
Salón	27,83	0,49	13,53
Baño PB	1,92	0,49	0,93
Baño PA1	5,24	0,49	2,55
Baño PA3	4,63	0,49	2,25
Dormitorio1	21,66	0,47	10,18
dormitorio2	18,95	0,47	8,91
dormitorio3	25,29	0,47	11,89
Vestíbulo PA	3,92	0,47	1,84
Cocina	12,61	0,49	6,13
vestíbulo	13,50	0,49	6,56
Total	-	-	77,71

Mes	Ts	Tint	ΔT	Qs
Enero	10	21	11	854,85
Febrero	10	21	11	854,85
Marzo	10	21	11	854,85
Abril	10	21	11	854,85
Mayo	10	21	11	854,85
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	10	21	11	854,85
Noviembre	10	21	11	854,85
Diciembre	10	21	11	854,85

TABLA 12: PÉRDIDAS MENSUALES DE TRANSMISIÓN EN EL SUELO

Pérdidas por transmisión en la cubierta

Habitación	Ac	Uc	Ac*Uc
Cuarto de estar	26,65	0,35	9,34
Salón	27,83	0,35	9,75
Baño PB	1,92	0,35	0,67
Baño PA1	5,24	0,35	1,84
Baño PA3	4,63	0,35	1,62
Dormitorio1	21,66	0,35	7,59
dormitorio2	18,95	0,35	6,64
dormitorio3	25,29	0,35	8,86
Vestíbulo PA	3,92	0,35	1,37
Cocina	12,61	0,35	4,42
vestíbulo	13,50	0,35	4,73
Total	-	-	56,8351

Mes	Text	Tint	ΔT	Qc
Enero	5,7	21	15,3	869,58
Febrero	7,5	21	13,5	767,27
Marzo	10,2	21	10,8	613,82
Abril	12,1	21	8,9	505,83
Mayo	16	21	5	284,18
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	14,8	21	6,2	352,38
Noviembre	9,5	21	11,5	653,60
Diciembre	6,6	21	14,4	818,43

TABLA 13: PÉRDIDAS MENSUALES POR TRANSMISIÓN EN LA CUBIERTA

U: coeficiente global térmico de la cubierta ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A: área de la habitación (m^2)

T_i: temperatura interior ($^\circ C$)

T_{ext}: temperatura exterior ($^\circ C$)

Q_s: carga térmica (W)



Pérdidas por transmisión en el muro exterior

Habitación	Am	Um	As*Us
Cuarto de estar	35,52	0,55	19,41
Salón	34,29	0,55	18,74
Baño PB	8,64	0,55	4,72
Baño PA1	11,79	0,55	6,45
Baño PA3	4,09	0,55	2,24
Dormitorio1	27,47	0,55	15,01
dormitorio2	21,27	0,55	11,62
dormitorio3	35,29	0,55	19,29
Vestíbulo 1ªP	4,50	0,55	2,46
Cocina	24,97	0,55	13,65
vestíbulo	4,49	0,55	2,45
Total	-	-	116,05

Mes	Text	Tint	ΔT	Qm
Enero	6	21	15	1775,59
Febrero	8	21	14	1566,70
Marzo	10	21	11	1253,36
Abril	12	21	9	1032,86
Mayo	16	21	5	580,26
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	15	21	6	719,52
Noviembre	10	21	12	1334,60
Diciembre	7	21	14	1671,15

TABLA 14: PÉRDIDAS MENSUALES DE TRANSMISIÓN POR EL MURO EXTERIOR

U: coeficiente global térmico del muro ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A: área de la habitación (m^2)

T_i: temperatura interior ($^\circ C$)

T_{ext}: temperatura exterior ($^\circ C$)

Q_s: carga térmica (W)



Pérdidas de transmisión por las ventanas

Habitación	Av	Uv	As*Us
Cuarto de estar	2,16	1,30	2,81
Salón	2,16	1,30	2,81
Baño PB	0,96	1,30	1,25
Baño PA1	0,96	1,30	1,25
Baño PA3	0,96	1,30	1,25
Dormitorio1	2,16	1,30	2,81
dormitorio2	2,16	1,30	2,81
dormitorio3	2,16	1,30	2,81
Vestíbulo PA	0,00	0,00	0,00
Cocina	2,16	1,30	2,81
vestíbulo	1,20	1,30	17,78
Total	-	-	38,38

Mes	Text	Tint	ΔT	Qv(W)
Enero	5,7	21	15,3	587,15
Febrero	7,5	21	13,5	518,08
Marzo	10,2	21	10,8	414,46
Abril	12,1	21	8,9	341,55
Mayo	16	21	5	191,88
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	14,8	21	6,2	237,93
Noviembre	9,5	21	11,5	441,32
Diciembre	6,6	21	14,4	552,61

TABLA 15: PÉRDIDAS MENSUALES DE TRANSMISIÓN POR LAS VENTANAS

U: coeficiente global térmico de la ventana ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A: área de la ventana (m^2)

T_i: temperatura interior ($^\circ C$)

T_{ext}: temperatura exterior ($^\circ C$)

Q_s: carga térmica (W)

Pérdidas de transmisión por la puerta

Habitación	Ap	Up	As*Us
Cuarto de estar	4	1,5	6
Salón	1,68	1,5	2,52
Baño PB	0	1,5	0
Baño PA1	0	1,5	0
Baño PA3	0	1,5	0
Dormitorio1	0	1,5	0
dormitorio2	0	1,5	0
dormitorio3	0	1,5	0
Vestíbulo PA	0	1,5	0
Cocina	1,68	1,5	2,52
vestíbulo	2,76	1,5	4,14
Total			15,18

Mes	Text	Tint	ΔT	Qp(W)
Enero	5,7	21	15,3	232,25
Febrero	7,5	21	13,5	204,93
Marzo	10,2	21	10,8	163,94
Abril	12,1	21	8,9	135,10
Mayo	16	21	5	75,90
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	14,8	21	6,2	94,12
Noviembre	9,5	21	11,5	174,57
Diciembre	6,6	21	14,4	218,59

TABLA 16: PÉRDIDAS MENSUALES DE TRANSMISIÓN POR LAS PUERTAS

U: coeficiente global térmico de la puerta ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A: área de la puerta (m^2)

T_i: temperatura interior ($^\circ C$)

T_{ext}: temperatura exterior ($^\circ C$)

Q_s: carga térmica (W)



Resumen de pérdidas por transmisión total:

Cargas de transmisión						
Mes	Qs	Qc	Qm	Qv	Qp	Qtransm
Enero	854,85	869,58	1775,59	587,15	232,25	4319,42
Febrero	854,85	767,27	1566,70	518,08	204,93	3911,83
Marzo	854,85	613,82	1253,36	414,46	163,94	3300,43
Abril	854,85	505,83	1032,86	341,55	135,10	2870,19
Mayo	854,85	284,18	580,26	191,88	75,90	1987,06
Junio	-	-	-	-	-	0,00
Julio	-	-	-	-	-	0,00
Agosto	-	-	-	-	-	0,00
Septiembre	-	-	-	-	-	0,00
Octubre	854,85	352,38	719,52	237,93	94,12	2258,79
Noviembre	854,85	653,60	1334,60	441,32	174,57	3458,94
Diciembre	854,85	818,43	1671,15	552,61	218,59	4115,63

TABLA 17: PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN ANUAL

6.2.2. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR VENTILACIÓN

Para los caudales de ventilación ha de tenerse en cuenta las siguientes tablas extraídas del CTE Sección HS3:

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

⁽¹⁾ Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

TABLA 18: CAUDALES DE VENTILACIÓN MÍNIMOS EXIGIDOS (5)

Ventilación latente

$$Q_{sen} = V_a \cdot \rho_{aire} \cdot c_p \cdot (T_{int} - T_a) \quad (9)$$

Q_{sen} : carga sensible (W)

c_p : calor específico del aire (J/kg·°C)

T_{int} : T^a interior (°C)

T_a : temperatura ambiente (°C)

ρ_{aire} : densidad del aire (kg/m³)

V_a : caudal de aire (m³/s)

γ : factor de ocupación



Habitación	V	D	Cp	γ	$V \cdot d \cdot Cp \cdot \gamma$	Ventilación sensible				
Cuarto de estar	0,01	1,2	1000	0,75	10,80	Mes	Text	Tint	ΔT	Qvsensible
Salón	0,01	1,2	1000	0,75	10,80	Enero	5,7	21	15,3	2210,80
Baño PB	0,02	1,2	1000	1	18,00	Febrero	7,5	21	13,5	1950,71
Baño 1 1ªP	0,02	1,2	1000	1	18,00	Marzo	10,2	21	10,8	1560,57
Baño 2 2ªP	0,02	1,2	1000	1	18,00	Abril	12,1	21	8,9	1286,02
Dormitorio1	0,01	1,2	1000	1	6,00	Mayo	16	21	5	722,48
dormitorio2	0,01	1,2	1000	1	12,00	Junio	-	-	-	-
dormitorio3	0,01	1,2	1000	1	6,00	Julio	-	-	-	-
Vestíbulo PA	0,00	1,2	1000	1	3,29	Agosto	-	-	-	-
Cocina	0,03	1,2	1000	1	30,26	Septiembre	-	-	-	-
vestíbulo	0,01	1,2	1000	1	11,34	Octubre	14,8	21	6,2	895,88
Total	-	-	-	-	144,497	Noviembre	9,5	21	11,5	1661,71
						Diciembre	6,6	21	14,4	2080,75

TABLA 19: PÉRDIDAS POR VENTILACIÓN SENSIBLE

Ventilación latente

$$Q_{lat} = V_a \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (W_{int} - W_a) \quad (10)$$

Q_{lat} : carga latente (W)

h_{fg} : entalpía cambio de fase agua (J/kg)

W_{int} : humedad interior

W_a : humedad ambiente

ρ_{aire} : densidad del aire (kg/m³)

V_a : caudal de aire (m³/s)

Para el cálculo de la ventilación latente así como de las pérdidas por infiltración latente se acudirá a la tabla de propiedades termodinámicas del agua (Anexo II).



$$W_{int} = 0,622 \cdot \frac{\phi_i \cdot P_{sat}(T_{int})}{P_{atm} - \phi_i \cdot P_{sat}(T_{int})} \quad (11)$$

ϕ_i : humedad relativa a T_i

$P_{sat}(T_{int})$: presión de saturación a la T^a interior

P_{atm} : presión atmosférica

$$W_{ext} = 0,622 \cdot \frac{\phi_e \cdot P_{sat}(T_{ext})}{P_{atm} - \phi_e \cdot P_{sat}(T_{ext})} \quad (11)$$

ϕ_e : humedad relativa a T_e

$P_{sat}(T_{ext})$: presión de saturación a la T^a exterior

P_{atm} : presión atmosférica

						Ventilación latente											
Habitación	V	d	Hfg	γ	V*d*Hfg*γ	Mes	Text	Tint	Patm	Ps.int	Ps.ext	φint	φext	Wi	We	Wi-We	Qvlatente
Cuarto de estar	0,01	1,2	2257000	0,75	24375,60	Enero	5,7	21	101325	2487	935	0,4	0,76	0,01	0,00	0,00	589,66
Salón	0,01	1,2	2257000	0,75	24375,60	Febrero	7,5	21	101325	2487	1072	0,4	0,69	0,01	0,00	0,00	529,47
Baño PB	0,02	1,2	2257000	1	40626,00	Marzo	10,2	21	101325	2487	1228	0,4	0,58	0,01	0,00	0,00	586,26
Baño PA1	0,02	1,2	2257000	1	40626,00	Abril	12,1	21	101325	2487	1402	0,4	0,57	0,01	0,00	0,00	406,31
Baño PA3	0,02	1,2	2257000	1	40626,00	Mayo	16	21	101325	2487	1818	0,4	0,53	0,01	0,01	0,00	65,02
Dormitorio1	0,01	1,2	2257000	1	13542,00	Junio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dormitorio2	0,01	1,2	2257000	1	27084,00	Julio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dormitorio3	0,01	1,2	2257000	1	13542,00	Agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vestíbulo PA	0,003	2,2	2257000	1	13625,06	Septiembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cocina	0,03	1,2	2257000	1	68305,85	Octubre	14,8	21	101325	2487	1550	0,4	0,63	0,01	0,01	0,00	38,07
vestíbulo	0,01	1,2	2257000	1	25594,38	Noviembre	9,5	21	101325	2487	1228	0,4	0,73	0,01	0,01	0,00	204,45
Total	-	-	-	-	332322,49	Diciembre	6,6	21	101325	2487	1003,5	0,4	0,79	0,01	0,00	0,00	419,52

TABLA 20: PÉRDIDAS POR VENTILACIÓN LATENTE



Resumen de pérdidas por ventilación:

Cargas de ventilación			
Mes	Qvsensible	Qvlatente	Qventilación(W)
Enero	2210,80	589,66	2800,46
Febrero	1950,71	529,47	2480,18
Marzo	1560,57	586,26	2146,83
Abril	1286,02	406,31	1692,33
Mayo	722,48	65,02	787,51
Junio	-	-	-
Julio	-	-	-
Agosto	-	-	-
Septiembre	-	-	-
Octubre	895,88	38,07	933,95
Noviembre	1661,71	204,45	1866,17
Diciembre	2080,75	419,52	2500,28

TABLA 21: PÉRDIDAS POR VENTILACIÓN TOTALES

6.2.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN

Infiltración sensible

Para el cálculo de la infiltración tanto sensible como latente se procede de manera análoga a la ventilación. La única diferencia, como ya se ha hablado anteriormente, tiene que ver con el cálculo del caudal de infiltración V . Se estimará aplicando los conocimientos de la asignatura Calor y Frío Industrial, así como las normas recogidas en el CTE como sigue a continuación:

$$V_{\text{habitación}} = \frac{Q_v}{3,6} \cdot \left(\sum_{\text{habitación}} A_{\text{ventana}} \right) + \frac{Q_p}{3,6} \cdot \left(\sum_{\text{habitación}} A_{\text{puerta}} \right) \quad (12)$$

$V_{\text{habitación}}$: caudal de infiltración por habitación (m^3/s)

A_{ventana} : área de la ventana (m^2)

A_{puerta} : área de la puerta (m^2)

Q_v : caudal de pérdidas por ventana ($1,8 \text{ m}^3/\text{h}$)

Q_p : caudal de pérdidas por puerta ($2,5 \text{ m}^3/\text{h}$)



Habitación	Av	Ap	V	d	Cp	V*d*Cp
Cuarto de estar	2,16	4	0,0039	1,2	1000	4,63
Salón	2,16	1,68	0,0022	1,2	1000	2,70
Baño PB	0,96	0	0,0005	1,2	1000	0,58
Baño1 1ªP	0,96	0	0,0005	1,2	1000	0,58
Baño2 2ªP	0,96	0	0,0005	1,2	1000	0,58
Dormitorio1	2,16	0	0,0011	1,2	1000	1,30
dormitorio2	2,16	0	0,0011	1,2	1000	1,30
dormitorio3	2,16	0	0,0011	1,2	1000	1,30
Vestíbulo P1	0	0	0,0000	1,2	1000	0,00
Cocina	2,16	1,68	0,0022	1,2	1000	2,70
Vestíbulo	1,2	2,76	0,0025	1,2	1000	3,02
Total	-	-	-	-	-	18,65

Mes	Text	Tint	ΔT	Qisensible
Enero	5,7	21	15,3	285,37
Febrero	7,5	21	13,5	251,80
Marzo	10,2	21	10,8	201,44
Abril	12,1	21	8,9	166,00
Mayo	16	21	5	93,26
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	14,8	21	6,2	115,64
Noviembre	9,5	21	11,5	214,50
Diciembre	6,6	21	14,4	268,59

TABLA 22: PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN SENSIBLE



Infiltración latente

Habitación	Av	Ap	V	d	Hfg	V*D*Hfg	Mes	Text	Tint	Patm	Ps.int	Ps.ext	ϕ int	ϕ ext	Wi	We	Wi-We	Qilatente
Cuarto de estar	2,16	4	0,0039	1,2	2257000	10443,59	Enero	5,7	21	101325	2487	935	0,4	0,76	0,006	0,004	0,002	120,08
Salón	20	0	0,0100	1,2	2257000	27084,00	Febrero	7,5	21	101325	2487	1072	0,4	0,69	0,006	0,005	0,002	107,82
Baño PB	0,5	0	0,0003	1,2	2257000	677,10	Marzo	10,2	21	101325	2487	1228	0,4	0,58	0,006	0,004	0,002	119,38
Baño1 1ªP	0,5	0	0,0003	1,2	2257000	677,10	Abril	12,1	21	101325	2487	1402	0,4	0,57	0,006	0,005	0,001	82,74
Baño2 2ªP	0	0	0,0000	1,2	2257000	0,00	Mayo	16	21	101325	2487	1818	0,4	0,53	0,006	0,006	0,000	13,24
Dormitorio1	1,7	0	0,0009	1,2	2257000	2302,14	Junio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dormitorio2	1,7	0	0,0009	1,2	2257000	2302,14	Julio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dormitorio3	1,7	0	0,0009	1,2	2257000	2302,14	Agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vestibulo P1	0	0	0,0000	1,2	2257000	0,00	Septiembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cocina	7	1,8	0,0047	1,2	2257000	12862,73	Octubre	14,8	21	101325	2487	1550	0,4	0,63	0,006	0,007	0,000	7,75
vestíbulo	0	4,8	0,0033	1,2	2257000	9022,22	Noviembre	9,5	21	101325	2487	1228	0,4	0,73	0,006	0,006	0,001	41,63
Total	-	-	-	-	-	67673,17	Diciembre	6,6	21	101325	2487	1003,5	0,4	0,79	0,006	0,005	0,001	85,43

TABLA 23: PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN LATENTE



Resumen de pérdidas por infiltración

Cargas de infiltración			
Mes	Qisensible	Qlatente	Qtotal
Enero	285,37	120,08	405,45
Febrero	251,80	107,82	359,62
Marzo	201,44	119,38	320,83
Abril	166,00	82,74	248,74
Mayo	93,26	13,24	106,50
Junio	-	-	0,00
Julio	-	-	0,00
Agosto	-	-	0,00
Septiembre	-	-	0,00
Octubre	115,64	7,75	123,39
Noviembre	214,50	41,63	256,13
Diciembre	268,59	85,43	354,02

TABLA 24: RESUMEN DE PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN

Resumen de pérdidas caloríficas total para todo un año

Carga térmica anual				
Mes	Qtransm	Qvent	Qinfilt	Qcalefacción (W)
Enero	4319,42	2800,46	405,45	7525,33
Febrero	3911,83	2480,18	359,62	6751,63
Marzo	3300,43	2146,83	320,83	5768,09
Abril	2870,19	1692,33	248,74	4811,26
Mayo	1987,06	787,51	106,50	2881,07
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	2258,79	933,95	123,39	3316,14
Noviembre	3458,94	1866,17	256,13	5581,24
Diciembre	4115,63	2500,28	354,02	6969,92

TABLA 25: CARGA TÉRMICA ANUAL



A continuación, puesto que Enero es el mes que precisa una mayor demanda energética (7523,33 W), se dimensionará nuestra instalación de suelo radiante a partir de dicho mes.

El desglose por habitación y cargas térmicas es el siguiente:



Habitación	Qtransmisión(W)					Qventilación(W)		Qinfiltración(W)		Qcalefacción (W)
	Qs	Qc	Qm	Qv	Qp	Qvs	Qvl	Qis	Qil	
Cuerto de estar	142,47	142,87	297,04	42,96	91,80	165,24	43,25	70,80	18,53	1014,97
Salón	148,78	149,20	286,75	42,96	38,56	165,24	43,25	41,24	48,06	964,04
Baño1	10,26	10,29	72,26	19,09	0,00	275,40	72,08	8,81	1,20	469,41
Baño2	28,01	28,09	98,61	19,09	0,00	275,40	72,08	8,81	1,20	531,31
Baño3	24,75	24,82	34,21	19,09	0,00	275,40	72,08	8,81	0,00	459,17
Dormitorio1	111,98	116,12	229,71	42,96	0,00	91,80	24,03	19,83	4,08	640,52
dormitorio2	97,97	101,59	177,86	42,96	0,00	183,60	48,06	19,83	4,08	675,95
dormitorio3	130,75	135,58	295,16	42,96	0,00	91,80	24,03	19,83	4,08	744,20
Vestíbulo PA	20,27	21,02	37,64	0,00	0,00	50,38	24,18	0,00	0,00	153,47
Cocina	67,41	67,60	208,80	42,96	38,56	463,04	121,20	41,24	22,82	1073,64
vestíbulo	72,17	72,38	37,55	272,10	63,34	173,50	45,41	46,18	16,01	798,65
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7525,33

TABLA 26: DESGLOSE DE PÉRDIDAS TÉRMICAS POR DEPENDENCIA EN EL MES DE ENERO

Se confirma por tanto que los cálculos de cargas térmicas para Enero son correctos ya que coinciden con el desglose mensual del apartado anterior.

7.- INSTALACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN MEDIANTE SUELO RADIANTE.

7.1.- INTRODUCCIÓN ACS.

Como ya se ha comentado anteriormente, el primordial objetivo de la instalación es la obtención de agua caliente sanitaria a partir de la energía solar térmica captada por los colectores solares. Esta aplicación se encuentra cada vez más extendida dentro del panorama nacional y gracias a ella es posible obtener grandes beneficios tanto a nivel energético como económico.

Se trata de un sistema destinado a calentar agua de la red de distribución para usos residenciales (ducha, cocina, etc...) principalmente en viviendas unifamiliares (instalaciones pequeñas), en complejos turísticos (hoteles, residencias, etc...) y hospitales.

Las temperaturas requeridas para tal efecto suelen oscilar entre los 45°C y 60°C, por lo que permiten el empleo de un amplio abanico de colectores solares.

Cada vez son más empleados este tipo de soluciones y más que una apuesta de futuro, en la actualidad son ya una realidad de la que se perciben las siguientes ventajas:

- Demanda estable a lo largo de todo el año.
- Áreas de captación reducidas.
- Rendimiento elevado frente a otras instalaciones solares
- Costes de instalación y mantenimiento reducidos frente a otros sistemas.

Se trata de un tipo de tecnología sencilla de incorporar tanto en viviendas de nueva construcción como en aquellas que ya han sido edificadas. Debido a su versatilidad que nos aporta son perfectamente compatibles con instalaciones solares destinadas a calefacción y climatización.

Otro de los aspectos que habrá que tener en cuenta para una vivienda con sistema de ACS será la del aporte auxiliar (calentadores de gas o combustible). Sólo en algunas localizaciones donde la presencia de nubes es ínfima se puede pensar en un sistema de producción de ACS exclusivamente solar. En sistemas bien desarrollados se puede alcanzar un beneficio económico gracias a la energía solar entre el 70% y 75% dejando el resto para el sistema auxiliar.

Como ya se analizará más adelante, el área total de los captadores para destinados a aplicaciones de ACS tendrá un valor tal que se cumpla la condición (5):

$$50 < V/A < 80$$

(13)

Según el CTE en el DB HE Ahorro de Energía, el rendimiento del captador debe ser siempre $\geq 40\%$. Además el rendimiento medio, dentro del periodo anual en el que se utilice la instalación, deberá ser $> 20\%$.

7.1.1.- CÁLCULOS PARA LA DEMANDA DE ACS.

Para llevar a cabo los cálculos de la demanda de agua caliente sanitaria de la vivienda situada en la C/Tucán Nº8 de Getafe se tomará como patrón de cálculo la sección HE4 del documento básico del código técnico (5).

Cálculo de la demanda

Para valorar las demandas y consumos se tomarán los valores unitarios que aparecen en la siguiente tabla:

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

TABLA 27: DEMANDAS DE REFERENCIA A 60°C. (5)

Una vez seleccionada el tipo de vivienda que se está calculando, se obtiene el consumo por persona al día.

$$d_{60} = 28l/pers \quad (14)$$

Siguiendo las directrices del CTE Sección HE4, “en el uso residencial vivienda el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan a continuación” (5):

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

TABLA 28: ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAS POR DORMITORIO EN LA VIVIENDA

$$D_{60} = 1viv \cdot \frac{4pers}{viv} \cdot \frac{28l}{pers} \cdot dia = 112l/dia \quad (15)$$

A continuación y tomando como referencia los apuntes de Calor y frío industrial (22), se llevará a cabo la determinación del consumo a 45°C: (se toma la temperatura de red de 8°C). Este resultado se empleará como referencia aproximada para la obtención y selección del acumulador de ACS:

$$D_{45} = D_{60} \cdot \frac{(60-8)}{(45-8)} = 157,4 \text{ l/dia (a } 45^{\circ}\text{C)} \quad (16)$$

Con estos datos se selecciona en las tablas del CTE Sección HE4 la contribución solar térmica para nuestra zona climática y a la temperatura de referencia de 60°C para el caso general (suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural, u otras):

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

TABLA 29: CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA ANUAL PARA ACS EN %. (5)

Por tanto nuestra instalación solar deberá cubrir como mínimo un 50 % de la energía total demandada.



Como se ha demostrado anteriormente, a 45 °C se estima un consumo medio diario en la vivienda de 157 litros. Por tanto, se selecciona el depósito de 150 L de la marca SUMSOL (18) que se muestra en el apartado de características de la instalación. Se dimensionará la caldera de la instalación para un caudal de 0,2 l/s según los caudales establecidos en el CTE(5) y una temperatura del agua fría de red de 8°C (Enero)

Potencia de la caldera

$$P=\dot{m}\cdot C_p\cdot(T_{acs}-T_{red})=30,9 \text{ KW} \quad (17)$$

$$P_{cald} = 0,2 \cdot 4186 \cdot (45 - 8) = 30,9 \text{ KW} \quad (18)$$

\dot{m} : flujo másico de agua (0,2 kg/s)

C_p : calor específico del agua a presión constante (4186 J/kg·°C)

T_{acs} : temperatura de acumulación (45°C)

T_{red} : temperatura del agua fría de red (8°C, en Enero)

P_{cald} : potencia de la caldera

Por lo tanto, como se verá más adelante para cubrir la demanda de ACS en caso de avería del sistema solar, se escogerá la caldera mixta Themafast NOx F30 de Saunier Duval (Anexo IV)

7.2.- INTRODUCCIÓN A CALEFACCIÓN MEDIANTE SUELO RADIANTE.

El cálculo de cargas térmicas en apartados anteriores servirá como punto de partida para seleccionar el sistema de calefacción más apropiado para la instalación. Entre los sistemas más comunes se encuentran:

- Radiadores: se hace circular agua caliente por los radiadores con el objetivo de calentar el aire del habitáculo a calefactar. Se basa en los fenómenos de convección natural.
- Fancoils: mediante el paso de agua caliente por un intercambiador de calor, se fuerza el paso de aire a través de un ventilador que calentará la habitación. Es un sistema basado en convección forzada.
- Suelo radiante: será el sistema de calefacción que se seleccione para esta vivienda. Por un sistema de tuberías instaladas en el suelo, se hace pasar agua caliente que acondicionará la habitación a la temperatura adecuada. El proceso de calentamiento desde el suelo al aire se realiza mediante convección natural. Su uso se da principalmente en lugares cuya ocupación va a ser elevada durante todo el año (viviendas unifamiliares, locales, edificios administrativos,...).

Temperatura de impulsión (°C)	
Radiadores	70-80
Fancoils	50-60
Suelo radiante	30-40

TABLA 30: TEMPERATURAS DE IMPULSIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.
(23)

La siguiente comparativa muestra la temperatura a la que ha de circular el agua por el sistema de calefacción empleado. El suelo radiante será el que menos demanda energética requiera para alcanzar las condiciones climáticas deseadas. Según el fabricante, con el sistema de suelo radiante seleccionado, se obtendrá una temperatura ambiente de confort dos grados por debajo de una calefacción tradicional, lo que se traduce en un ahorro en el consumo medio de energía muy considerable al cabo de un año.

En la actualidad, estos sistemas suponen un 30% de ahorro energético respecto de las calderas de combustible convencional y son capaces de desempeñar su labor perfectamente sin tener que sobrepasar temperaturas superiores a los 40-45°C.

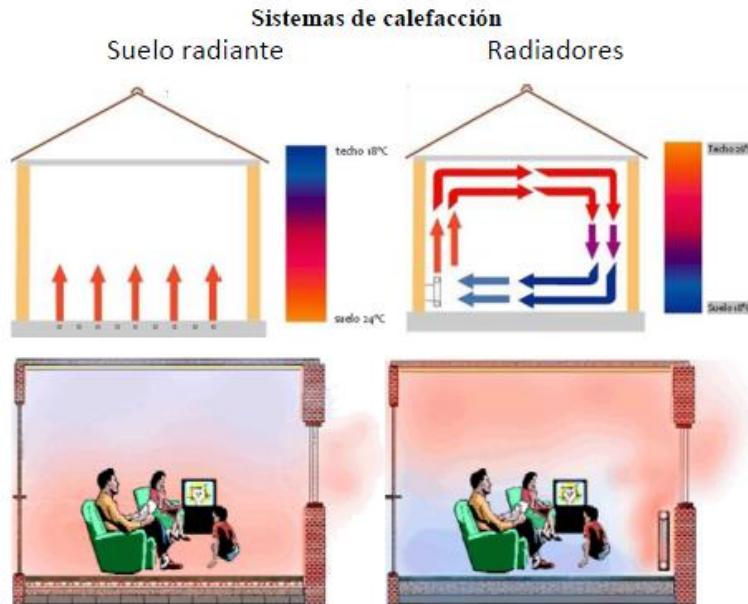


ILUSTRACIÓN 22: SISTEMAS DE CALEFACCIÓN. (17)

El suelo radiante proporcionara un mejor aprovechamiento en cuanto al reparto de temperaturas se refiere, proporcionando mayor calor en las capas próximas al suelo y descendiendo el mismo conforme la distancia al techo se reduce. De esta manera, no se malgasta la energía calorífica calentando las partes altas de cualquier edificio o vivienda. Oscilará por lo general 5°C desde la parte más caliente a la más fría de la vivienda, por lo que su reparto de temperaturas se realiza de una manera bastante equilibrada.

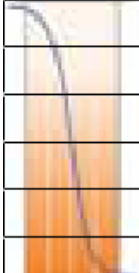
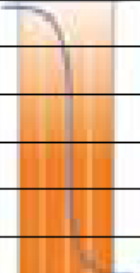
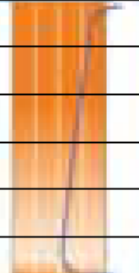

Calefacción ideal	Suelo radiante	Calefacción techo	Calefacción por radiadores	2,70m.	Ideal	Suelo radiante	Otros
				2,28m.	16	19	23
				1,85m.	18	20	22
				1,43m.	19	20	21
				1,00m.	20	20	20
				0,58m.	21	21	19
					22	22	18

TABLA 31: DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS. (17)



Aquí se puede apreciar otra comparativa en cuanto a distribución de temperaturas en función del tipo de sistema de calefacción. A partir del suelo radiante se aprecia como los pies y extremidades inferiores se mantienen siempre a la temperatura ideal de confort evitando así cualquier sensación de frío.

Un hándicap que presentará es que este tipo de tecnologías es más apropiada para viviendas de nueva construcción o en aquellas en las que se pretenda realizar una reforma de cierta importancia, ya que el entramado de tubos ocupa toda la superficie del subsuelo que pretende ser calentado.

El suelo radiante requerirá un espacio extra de unos 8 cm entre el forjado y el solado debido al panel aislante y al mortero que recubre los tubos calefactores. También, ha de ser capaz de absorber las expansiones térmicas evitando así el deterioro y agrietamiento de las tuberías y hormigón.

Sobre el forjado se colocarán las placas aislantes y sobre estas se fijarán los tubos de polietileno reticulado. Estos tubos no tienen ninguna unión ni empalme en toda su longitud, por lo que son totalmente ajenos a averías. Siempre comienzan y terminan en un colector, situado fuera del suelo, habitualmente en las paredes de la vivienda. Existirán dos colectores de distribución (uno por planta). Sobre toda la instalación se construye una losa de mortero que permitirá el empleo de cualquier tipo de superficie (gres, madera,...).

Al igual que para el ACS, se emplearán termostatos para controlar en todo momento la temperatura del agua circulante por las tuberías, mandando de ese modo una señal constante a los colectores de distribución para regular el circuito a partir de un sistema de electroválvulas. Este tendrá una parte de ida y otra de vuelta.

Otra particularidad que presenta es que el calor generado al suelo radiante no altera en ningún caso las propiedades del aire fresco del ambiente, lo que lo convierte en un sistema ideal para la calefacción de viviendas.

Con el suelo radiante seleccionado de la marca ROTH se proporcionará un calor uniforme y homogéneo que nos permitirá alcanzar la temperatura de confort ideal. Se trata de un sistema de baja temperatura en el que el agua que circula por los tubos (30-45°C) con el objetivo de alcanzar una temperatura del suelo de entre 22°C y 28°C. Nunca se deberán de superar los 29°C, ya que a partir de dicha temperatura puede tener efectos nocivos en la salud humana. Las características principales del suelo radiante ROTH seleccionado se resumen en los siguientes puntos (17) :

- Confortable: pies templados y cabeza fría
- Calor uniformemente repartido
- Saludable: temperatura suave, mayor confort, sin riesgos.
- Económico: bajo consumo. Eficiencia energética.
- Ideal para su combinación con energía solar térmica
- Libertad de decoración interior. No hay elementos externos.
- Sin corrientes de aire que arrastran el polvo. Proceso de convección natural.
- Combinable con cualquier fuente de energía: gas natural, gasóleo, bomba de calor, electricidad...
- Combinable con cualquier tipo de pavimento: cerámica, parquet, tarima, mármol, moqueta, plástico...
- Combinable con cualquier tipo de construcción: pisos, viviendas unifamiliares, despachos, locales comerciales, etc... Especialmente indicado para guarderías, escuelas y hospitales.

7.2.1.- CÁLCULOS DEL APOORTE CALORÍFICO DEL SUELO RADIANTE.

Longitud de las tuberías:

Para comenzar el dimensionamiento de la instalación de suelo radiante se calculará la longitud de tuberías necesarias para cada circuito. Se dispone de un colector por planta a partir del cuales saldrán y entrarán cada circuito de tuberías independiente. Según el fabricante el paso existente entre los tubos de cada circuito oscilará entre 50 mm y 200mm. Se han dimensionado los cálculos para 200mm:

$$L = \frac{A}{p} + 2 \cdot d \quad (19)$$

L: longitud de los tubos de cada circuito (m)

A: área de la habitación

p: paso entre tubos (m)

d: distancia del colector a la habitación

Longitud de los tubos suelo radiante					
Circuito	Habitación	As(m2)	p(m)	d(m)	L(m)
Colector1	Cuarto de estar	26,65	0,2	1,8	136,85
Colector1	Salón	27,83	0,2	1,2	141,55
Colector1	Aseo	1,92	0,2	2	13,6
Colector2	Baño 1 1ªP	5,24	0,2	2	30,2
Colector2	Baño 2 1ªP	4,63	0,2	2	27,15
Colector2	Dormitorio1 +VA	25,58	0,2	2	131,9
Colector2	dormitorio2	18,95	0,2	2	98,75
Colector2	dormitorio3	25,29	0,2	2	130,45
Colector1	Cocina	12,61	0,2	2	67,05
Colector1	vestíbulo	6,61	0,2	2	37,05

TABLA 32: CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS TUBOS

Como particularidades de la instalación, de este punto en adelante se unificará el circuito del aseo y vestíbulo de la planta baja de cara a contribuir con un mejor aprovechamiento del espacio e instalación, y para solventar posibles problemas que surjan con la temperatura máxima permitida del pavimento.

Se procederá de la misma manera con el dormitorio 1 y el vestíbulo de la primera planta.

Cálculo de la temperatura del pavimento

Para hallar la temperatura requerida por el pavimento de cada habitación se considera según el CTE, que se ha de alcanzar en la misma una temperatura media de 21°C. Para ello, se toman en cuenta las pérdidas térmicas del mes más desfavorable que es Enero. El proceso de transmisión de energía es por convección natural, para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

$$\frac{Q}{A} = h \cdot (T_s - T_i) \quad (20)$$

Q: carga térmica (W).

A: área de cada habitación (m²).

h: constante convectiva del aire (20W/m²·°C).

T_s: temperatura del pavimento (°C).

T_i: temperatura interior de la habitación (°C).

Circuito	Habitación	Q (W)	A(m²)	h(W/m²·°C)	Q/A (W/ m²)	Ti (°C)	Ts (°C)
Colector1	Cuarto de estar	1014,97	26,65	20	38,09	21	22,90
Colector1	Salón	964,04	27,83	20	34,64	21	22,73
Colector1	Aseo	469,41	1,92	20	244,49	21	33,22
Colector2	Baño 1 1ªP	528,73	5,24	20	100,90	21	26,05
Colector2	Baño 2 1ªP	456,90	4,63	20	98,68	21	25,93
Colector2	Dormitorio1+VA	633,70	25,58	20	24,77	21	22,24
Colector2	dormitorio2	669,98	18,95	20	35,36	21	22,77
Colector2	dormitorio3	736,23	25,29	20	29,11	21	22,46
Colector1	Cocina	1073,64	12,61	20	85,14	21	25,26
Colector1	vestíbulo	798,65	6,61	20	120,82	21	27,04

TABLA 33: CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DEL SUELO POR HABITACIÓN

Por motivos de salud y confort se recomienda no superar en ningún caso valores superiores a 29°C. Para solventar ese contratiempo en el aseo, y puesto que son 1,92 m se considerará como un único circuito el vestíbulo+aseo, unificando cargas térmicas y superficie (Ver anexo I):



Circuito	Habitación	Q (W)	A(m ²)	h(W/m ² °C)	Q/A (W/m ²)	Ti (°C)	Ts (°C)
Colector1	Cuarto de estar	1014,97	26,65	20	38,09	21	22,90
Colector1	Salón	964,04	27,83	20	34,64	21	22,73
Colector2	Baño 1 1ªP	528,73	5,24	20	100,90	21	26,05
Colector2	Baño 2 1ªP	456,90	4,63	20	98,68	21	25,93
Colector2	Dormitorio1+VA	633,70	25,58	20	24,77	21	22,24
Colector2	dormitorio2	669,98	18,95	20	35,36	21	22,77
Colector2	dormitorio3	736,23	25,29	20	29,11	21	22,46
Colector1	Cocina	1073,64	12,61	20	85,14	21	25,26
Colector1	vestíbulo+aseo	1268,06	8,53	20	148,66	21	28,43

TABLA 34: SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE TEMPERATURAS

De esta manera se solventaría el problema del suelo de cara a un próspero bienestar.

Cálculo de la temperatura del agua

En este apartado se hallará la temperatura de salida del agua desde los colectores a cada habitación. Se considerará una diferencia de 10°C desde que dicho agua sale del colector para hacer su recorrido por el circuito correspondiente y su retorno.

Para la planta baja y todos los baños de la vivienda la superficie del suelo será pavimento cerámico, mientras que en la planta primera se hará uso de parquet.

Para el cálculo de la temperatura de impulsión del agua de los colectores se tendrá que realizar el siguiente cálculo por conducción desde el agua las tuberías hasta la última capa solada (parquet o pavimento cerámico) de manera análoga a los cálculos realizados para la carga térmica del suelo.

$$\frac{Q}{A} = R \cdot (T_{agua} - T_{suelo}) \quad (21)$$

Q: cargas térmicas de cada habitación (W)

A: área de cada habitación (m²)

R: resistencia térmica de las capas del suelo (W/m²·°C)

T_{agua}: temperatura del agua a la salida del colector (°C)

T_{suelo}: temperatura del suelo (°C)

Cálculo de la resistencia térmica					
Habitación	R _{suelo} (m ² ·°C/W)	R _{tubería} (m ² ·°C/W)	R _{mortero} (m ² ·°C/W)	R _{hormigón celular} (m ² ·°C/W)	R (W/m ² ·°C)
Cuarto de estar	0,09	0,005	0,035	0,035	6,08
Salón	0,09	0,005	0,035	0,035	6,08
Baño PB	0,02	0,005	0,035	0,035	10,59
Baño PA1	0,02	0,005	0,035	0,035	10,59
Baño PA3	0,02	0,005	0,035	0,035	10,59
Dormitorio1+VA	0,09	0,005	0,035	0,035	6,08
dormitorio2	0,09	0,005	0,035	0,035	6,08
dormitorio3	0,09	0,005	0,035	0,035	6,08
Cocina	0,02	0,005	0,035	0,035	10,59
vestíbulo	0,02	0,005	0,035	0,035	10,59

TABLA 35: CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS EN EL SUELO PARA HALLAR LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA

Tanto los valores de R_{suelo}, R_{mortero}, R_{hormigón celular} se han demostrado en el apartado de cálculo de resistencias térmicas. Para el cálculo de la R_{tubería} el fabricante de suelo radiante ROTH recomienda una tubería de 0,002m de espesor y de polietileno reticulado PXC (conductividad térmica =0,42W/m·°C), la cual será seleccionada para la instalación.



$$R_{tubería} = \frac{0,002}{0,42} = 0,005 \, m^2 \cdot ^\circ C/W \quad (21)$$

Los resultados de la temperatura máxima del agua a la salida del colector son los siguientes:



Circuito	Habitación	Superficie	Q (W)	A(m ²)	R(W/m ² *°C)	Q/A (W/m ²)	Tsuelo (°C)	ΔT	Tscolector
Colector1	Cuarto de estar	PARQUET	1014,97	26,65	6,08	38,09	22,90	6,26	29,17
Colector1	Salón	PARQUET	964,04	27,83	6,08	34,64	22,73	5,70	28,43
Colector2	Baño 1 1ªP	BALDOSA	528,73	5,24	10,59	100,90	26,05	9,53	35,57
Colector2	Baño 2 2ªP	BALDOSA	456,90	4,63	10,59	98,68	25,93	9,32	35,25
Colector2	Dormitorio1+VA	PARQUET	633,70	25,58	6,08	24,77	22,24	4,07	26,31
Colector2	dormitorio2	PARQUET	669,98	18,95	6,08	35,36	22,77	5,81	28,58
Colector2	dormitorio3	PARQUET	736,23	25,29	6,08	29,11	22,46	4,79	27,24
Colector1	Cocina	BALDOSA	1073,64	12,61	10,59	85,14	25,26	8,04	33,30
Colector1	vestíbulo+aseo	BALDOSA	1268,06	8,53	10,59	148,66	28,43	14,04	42,47

TABLA 36: TEMPERATURAS MÁXIMAS DEL AGUA A LA SALIDA DE LOS COLECTORES

La temperatura máxima se obtiene en el vestíbulo (42,47°C). Por lo que si se considera un salto térmico de 10°C entre la temperatura de salida del colector y la de retorno, la temperatura de vuelta del agua a su paso por el circuito será de 32,47 °C. Para estos valores se dimensionará el resto de la instalación.

Cálculo del caudal del agua

La obtención del flujo másico del agua permitirá obtener en el próximo apartado las pérdidas de carga de cada circuito de suelo radiante instalado. Para ello, a partir de la potencia térmica requerida en cada dependencia y suponiendo una oscilación térmica de 10°C entre la temperatura de salida y de retorno del agua se obtienen los siguientes resultados:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_s - T_e) \quad (22)$$

Q: carga térmica (W)

\dot{m} : flujo másico del agua (l/s)

ρ : densidad del agua (1000 kg/m³)

c_p : calor específico del agua a presión constante (4186 J/kg·°C)

ΔT : salto térmico de temperatura (10)

Circuito	Habitación	Q	P	Cp	ΔT	\dot{m}
Colector1	Cuarto de estar	1014,970	1000	4186	10	0,024
Colector1	Salón	964,038	1000	4186	10	0,023
Colector2	Baño1 1ªP	528,735	1000	4186	10	0,013
Colector2	Baño2 1ªP	456,900	1000	4186	10	0,011
Colector2	Dormitorio1+VA	633,696	1000	4186	10	0,015
Colector2	dormitorio2	669,983	1000	4186	10	0,016
Colector2	dormitorio3	736,227	1000	4186	10	0,018
Colector1	Cocina	1073,635	1000	4186	10	0,026
Colector1	vestíbulo+aseo	1268,057	1000	4186	10	0,030
Qtotál	-	-	-	-	-	0,175

TABLA 37: FLUJO MÁSICO DE AGUA POR HABITACIÓN

El resumen de los caudales por colector es el siguiente:

QC1 (l/s)	QC2 (l/s)	QC1+QC2(l/s)
0,103	0,072	0,175

Velocidad del agua suelo radiante:

Según el fabricante nunca se deberá sobrepasar velocidades superiores a 2m/s ya que a partir de estos órdenes de velocidad empiezan a ser notables los ruidos por fricción del agua en el suelo. El diámetro del tubo seleccionado PE-Xc es de 20 mm. Sin embargo su diámetro nominal es de 16,2 mm. La siguiente expresión permite hallar el desglose de velocidades por habitación:

$$V = \frac{Q}{\pi \cdot r^2} \quad (23)$$

V: velocidad del agua (m/s)

Q:caudal del agua (l/s)

R: radio de las tuberías de polietileno reticulado (0,0162 m)

Circuito	Habitación	Caudal(l/s)	Diámetro (m)	Velocidad (m/s)
Colector1	Cuarto de estar	0,024	0,016	0,118
Colector1	Salón	0,023	0,016	0,112
Colector2	Baño 1 1ªP	0,013	0,016	0,061
Colector2	Baño 2 2ªP	0,011	0,016	0,053
Colector2	Dormitorio1+VA	0,015	0,016	0,073
Colector2	dormitorio2	0,016	0,016	0,078
Colector2	dormitorio3	0,018	0,016	0,085
Colector1	Cocina	0,026	0,016	0,124
Colector1	vestíbulo+aseo	0,030	0,016	0,146

TABLA 38: VELOCIDAD DEL AGUA CIRCULANTE POR HABITACIÓN

No se sobrepasa en ningún caso velocidades superiores a los 0,6 m/s.

Pérdidas de carga:

Circuito	Habitación	L	Caudal(l/s)	Caudal(l/h)	Pérdidas de carga (pa/m)	Pérdida de carga (pa)	H (m)
Colector1	Cuarto de estar	136,85	0,02	87,29	18,00	2463,30	1,04
Colector1	Salón	141,55	0,02	82,91	15,00	2123,25	-
Colector2	Baño PA1	30,2	0,01	45,47	5,50	166,10	-
Colector2	Baño PA3	27,15	0,01	39,29	4,00	108,60	-
Colector2	Dormitorio1+VA	112,3	0,02	54,50	8,00	898,40	-
Colector2	dormitorio2	98,75	0,02	57,62	8,50	839,38	-
Colector2	dormitorio3	130,45	0,02	63,32	11,00	1434,95	-
Colector1	Cocina	67,05	0,03	92,33	20,00	1341,00	-
Colector1	vestíbulo	83,5	0,03	100,00	12,00	1002,00	-
Total	-	-	-	-	-	10376,98	-



Entrando en la gráfica l/h-Pa/m del fabricante (Anexo III), para la tubería de 20 mm de polietileno reticulado se obtienen las distintas pérdidas de carga de cada habitación. Multiplicando la pérdida de carga (Pa/m) de cada dependencia por la longitud correspondiente de los tubos se obtiene la carga total.

Mediante la expresión:

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g} = \frac{10376,98}{1000 \cdot 10} = 1,04 \text{ m} \quad (24)$$

Por lo tanto suponiendo unas pérdidas de carga de 3 m por altura geométrica se calcula la altura necesaria de la bomba para el suelo radiante:

$$H_b = 3 + 1,04 = 4,04 \text{ m} \quad (25)$$

Se selecciona la bomba UPS Solar 25-120 de la marca Salvador Escoda que para caudales de 0,175 l/s (0,63m³/h), la cual aporta la altura requerida por la instalación. Ver hoja de características. De esta manera quedarían dimensionados los principales componentes de la instalación a excepción del intercambiador de calor.

Intercambiador de calor

El intercambiador de calor se encargará de aportar la energía necesaria al a los colectores del suelo radiante para que el flujo másico circulante alcance una temperatura de salida de 42°C y una de retorno de 32°C.

$$P_{\text{suelo radiante}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_s - T_e) = 0,175 \cdot 4186 \cdot (42 - 32) = 7325,5 \text{ W} \quad (26)$$

P: potencia (W)

\dot{m} : caudal circulante (kg/s).

c_p : calor específico del agua (4186 J/kg·°C).

T_s : temperatura del agua a la salida del colector .

T_e : temperatura del agua a la entrada del colector.

De este modo, quedaría ya dimensionado la potencia total que precisa la instalación en caso de que falle el sistema de energía solar al completo. La potencia de ACS calculada anteriormente era:

$$P_{ACS} = 30900W \quad (27)$$

Por lo que con la caldera mural mixta Themafast NOx F30 de Saunier Duval (Anexo IV) seleccionada en el apartado de características con capacidades de trabajo entre 14,9 y 30 kW sería suficiente para abastecer tanto la demanda de calefacción como para ACS.

7.3.- DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.

7.3.1 DIMENSIONAMIENTO Nº DE COLECTORES PARA ACS

A continuación se procederá al diseño de algunos de los componentes de la instalación. El primero en analizar será el número de colectores solares requeridos para dicho efecto. Para ello se comenzará ofreciendo una comparativa de la cantidad de irradiancia global ($W \cdot h/m^2 \cdot día$) que se puede obtener en función del ángulo del colector. Esta información nos la aporta la web european join centre:

Mes	H_h	H (30)	H (40)	H (50)	H_{opt}
Enero	2070	3400	3690	3890	3590
Febrero	3150	4660	4950	5110	4850
Marzo	4510	5670	5800	5780	5770
Abril	5730	6270	6160	5900	6230
Mayo	6620	6550	6240	5780	6380
Junio	7700	7290	6820	6190	7030
Julio	7970	7700	7240	6610	7450
Agosto	6960	7390	7160	6760	7270
Septiembre	5380	6520	6580	6470	6570
Octubre	3630	5060	5300	5400	5220
Noviembre	2400	3830	4130	4330	4020
Diciembre	1900	3270	3580	3790	3470
Año	4850	5640	5640	5500	5660

TABLA 39: COMPARATIVA DE CAPTACIÓN SOLAR EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN



Radiaciones y temperaturas medias por mes

Como se ha podido comprobar en tablas anteriores, la cantidad de agua demandada por nuestra instalación será de $D_{60d}=112$ l/día, situándose Getafe según el CTE Sección HE4 en la zona IV. El porcentaje de energía que ha de ser cubierta es de un 50%. Por ello para calcular la energía que requiere la instalación para calentar el agua de red hasta la temperatura de consumo se aplica la siguiente fórmula:

$$E_{nmes} = D_{60m} \cdot \rho_a \cdot C_p \cdot (T_m - T_{red}) \cdot 10^{-3} \quad (28)$$

E_{nmes} : energía necesaria al mes para calentar el agua (MJ/mes)

D_{60m} : consumo mensual de ACS (l/día)

ρ_a : densidad del agua (1000 kg/m³)

C_p : calor específico del agua a presión constante (4186 J/kg·°C)

T_m : temperatura media mensual (°C)

T_{red} : temperatura del agua fría de red (°C)

Además, como se especifica en pasos anteriores, la instalación ha de cubrir el 50% de la demanda energética con energía solar, por tanto:

$$E_{cmes} = 0,5 \cdot E_{nmes} \quad (29)$$

E_{cmes} : energía cubierta por la instalación solar (MJ/mes)

Mes	Días	Tred	D60m	Enmes (MJ/mes)	Ecmes (MJ/mes)	Enmes (MW/mes)	Ecmes (MW/mes)
Enero	31	8	3472	754,67	377,34	0,21	0,10
Febrero	28	8	3136	681,64	340,82	0,19	0,09
Marzo	31	10	3472	725,65	362,82	0,20	0,10
Abril	30	12	3360	674,15	337,08	0,19	0,09
Mayo	31	14	3472	667,60	333,80	0,19	0,09
Junio	30	17	3360	603,93	301,96	0,17	0,08
Julio	31	20	3472	580,52	290,26	0,16	0,08
Agosto	31	19	3472	595,03	297,52	0,17	0,08
Septiembre	30	17	3360	603,93	301,96	0,17	0,08
Octubre	31	13	3472	682,11	341,05	0,19	0,09
Noviembre	30	10	3360	702,24	351,12	0,20	0,10
Diciembre	31	9	3472	740,16	370,08	0,21	0,10
Total	-	-	-	8011,62	4005,81	2,23	1,11

TABLA 40: COMPARATIVA DE ENERGÍA DEMANDADA AL AÑO/ CUBIERTA POR LA INSTALACIÓN

Temperatura del agua fría de red:

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran Canaria	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8

TABLA 41: TEMPERATURA DIARIA MEDIA MENSUAL DE AGUA FRIA DE RED

Radiación solar e irradiación

La energía demandada deber ser cubierta mediante energía solar. Por ello se debe obtener la cantidad de energía solar incidente sobre superficie con el objetivo de cuantificar dicha absorción. La radiación global obtenida para 40° y 50° varía muy poco en término media si se tienen en cuenta los meses de calefacción (Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Octubre, Noviembre y Diciembre). Sin embargo, con la inclinación de 40° del colector solar plano se obtiene una radiación anual superior que con 30 y 40 °. Por tanto, esta es la pendiente con la que se calculará en adelante el resto de parámetros de la instalación.

Según la sección 2.2.3 del CTE HE4 se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes (5):

- Demanda constante anual: la latitud geográfica.
- Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica +10°
- Demanda preferente en verano: la latitud geográfica -10°.

Por lo tanto se considera como válida la hipótesis empleada de inclinar el colector solar 40°, coincidiendo además con la latitud geográfica de Getafe (40°)

A continuación se procederá al cálculo de la cantidad de irradiación incidente para 40°.

$$G(40^\circ) = \frac{R_d(40^\circ)}{H_d} \quad (30)$$

$G(40^\circ)$: irradiancia obtenida a 40° de inclinación (W/m²)

$R_d(40^\circ)$: radiación incidente sobre superficie a 40° (W·h/m²·dia)

H_{dia} : horas útiles de luz solar

Mes	R (40°)	Horas sol	G(40°)
Enero	3690	5	738,00
Febrero	4950	6	883,93
Marzo	5800	7	801,84
Abril	6160	7	825,00
Mayo	6240	9	680,73
Junio	6820	11	649,52
Julio	7240	12	603,33
Agosto	7160	11	635,50
Septiembre	6580	8	829,41
Octubre	5300	7	779,41
Noviembre	4130	5	794,23
Diciembre	3580	4	933,91
Año	5640	-	9154,83

TABLA 42: IRRADIANCIA SOBRE INCLINACIÓN 40°

Puesto que no toda la radiación incidente será captada por nuestro colector se deberá calcular el rendimiento de captación de incidencia. A partir de la irradiancia obtenida en el apartado anterior y mediante la siguiente ecuación se obtiene el rendimiento de captación del colector solar plano seleccionado.

$$\eta = \eta_0 - K_1 \cdot \frac{(T_{acs} - T_{ext})}{G} - K_2 \cdot \frac{(T_{acs} - T_{ext})^2}{G} \quad (31)$$

η_0 : eficiencia óptica del captador solar (0,725)

k_1 : coeficiente de pérdidas (3,461 W/m²·K)

k_2 : coeficiente de pérdidas (0,011 W/m²·K)

T_{ACS} : temperatura del ACS (60°C)

T_{ext} : temperatura media mensual ambiente (°C)



Mes	Text	Tacs	G40	η_0	k1	k2	$\eta(40^\circ)$
Enero	5,7	60	738	0,725	3,461	0,011	0,43
Febrero	7,5	60	883,9	0,725	3,461	0,011	0,49
Marzo	10,2	60	801,8	0,725	3,461	0,011	0,48
Abril	12,1	60	825,0	0,725	3,461	0,011	0,49
Mayo	16	60	680,7	0,725	3,461	0,011	0,47
Junio	21,3	60	649,5	0,725	3,461	0,011	0,49
Julio	25,2	60	603,3	0,725	3,461	0,011	0,50
Agosto	24,8	60	635,5	0,725	3,461	0,011	0,51
Septiembre	20,7	60	829,4	0,725	3,461	0,011	0,54
Octubre	14,8	60	779,4	0,725	3,461	0,011	0,50
Noviembre	9,5	60	794,2	0,725	3,461	0,011	0,47
Diciembre	6,6	60	933,9	0,725	3,461	0,011	0,49

TABLA 43: RENDIMIENTO COLECTOS ACS (40°)

Una vez que se ha estimado los parámetros anteriores se procede a calcular la energía útil captada por el colector solar plano. Se aplica la siguiente ecuación:

$$E_{um} = R_d(40^\circ) \cdot \eta_{col} \cdot \eta_{acum} \quad (32)$$

E_{um} : energía útil mensual captada por el colector

R: radiación solar captada con una inclinación de 40° ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{mes}$).

η_{col} : rendimiento del colector.

η_{acum} : rendimiento del acumulador.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de energía que se ha de emplear/utilizar para calentar el agua por medios solares:

Mes	R (40°) (W·h/m²·día)	R (40°) (MJ/m²·día)	Días	η (40°)	η_{acum}	H (40°)	Eum(40°)
Enero	3690	13,28	31	0,43	0,85	411,80	149,25
Febrero	4950	17,82	28	0,49	0,85	498,96	205,75
Marzo	5800	20,88	31	0,48	0,85	647,28	261,90
Abril	6160	22,18	30	0,49	0,85	665,28	279,05
Mayo	6240	22,46	31	0,47	0,85	696,38	278,21
Junio	6820	24,55	30	0,49	0,85	736,56	308,92
Julio	7240	26,06	31	0,50	0,85	807,98	345,65
Agosto	7160	25,78	31	0,51	0,85	799,06	347,65
Septiembre	6580	23,69	30	0,54	0,85	710,64	326,50
Octubre	5300	19,08	31	0,50	0,85	591,48	249,09
Noviembre	4130	14,87	30	0,47	0,85	446,04	178,05
Diciembre	3580	12,89	31	0,49	0,85	399,53	167,60
Total	-	-	-	-	-	7411,00	3097,63

TABLA 44: ENERGÍA ÚTIL ANUAL ACS

Cálculo del área de absorción y del número de colectores

El siguiente paso será calcular la magnitud del área de absorción, y a partir de ella el número de colectores que se precisa para la instalación. Para ello se calcula el cociente entre la cantidad de energía que ha de ser cubierta por la instalación solar y la cantidad de energía útil captada al año.

$$A_{abs} = \frac{Ec_{año}}{Eu_{año}} = \frac{4005,81}{3097,63} = 1,3 \text{ m}^2 \quad (33)$$

A_{abs} : área de absorción (m²)

$Ec_{año}$: energía cubierta por la instalación solar al año (MJ/año)

$Eu_{año}$: energía útil captada por la instalación solar en un año (MJ/m²·año)

Una de las máximas que ha de cumplirse según la sección HE4 2.2.5 del CTE es la relación existente entre el área de acumulación y el área de absorción (5):

$$50 < \frac{V_{acumulador}}{A_{absorción}} < 180 \quad (34)$$



$$\frac{V_{\text{acumulador}}}{A_{\text{absorción}}} = \frac{150}{1,92} = 78,12 \quad (35)$$

Se cumplen las condiciones, por lo que de esta manera los cálculos tanto del depósito acumulador como del absorbedor se ajustan a las condiciones establecidas en el CTE.

Método f-chart

A partir del método f-chart se chequeará si el diseño de nuestra instalación de agua caliente sanitaria ha sido dimensionada de una manera correcta. Se trata de un método de estimación del calor total necesario para cubrir las cargas térmicas y de su rendimiento a largo plazo.

El parámetro a calcular f es la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar. La secuencia de cálculo normalmente seguida para este tipo de métodos es la siguiente:

- 1.- Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS o calefacción.
- 2.- Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
- 3.- Cálculo del parámetro D1.
- 4.- Cálculo del parámetro D2
- 5.- Cálculo de la f.
- 6.- Porcentaje de cobertura solar mensual.
- 7.- Porcentaje de cobertura solar anual.

Dimensionado: Método f-Chart

1. Carga calorífica: la carga calorífica será la energía necesaria para calentar agua para la producción de ACS o para calefacción.

Producción de ACS:

$$Q_c = V_{\text{agua}} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{red}}) \cdot N \quad (36)$$

Calefacción:

$$Q_c = Q_{\text{agua}} \cdot N \quad (37)$$



2. Radiación incidente: existen distintos métodos de obtención. El más común es mediante tablas.

3. Cálculo del parámetro D_1 :

D_1 =Energía absorbida por el colector /Carga calorífica

$$E_a = S \cdot F'_R \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot E_{dia} \cdot N \quad (38)$$

$$F'_R \cdot (\tau \cdot \alpha) = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n \cdot [(\tau \cdot \alpha)/(\tau \cdot \alpha)_n] \cdot (F'_R/F_R) \quad (39)$$

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_c} \quad (40)$$

E_a : energía absorbida.

S : superficie de captación.

E_{dia} : energía solar media diaria.

N : número de días del mes.

Q_c : carga calorífica.

$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$: eficiencia óptima del captador.

$(\tau \cdot \alpha)/(\tau \cdot \alpha)_n$: modificador ángulo de incidencia (normal 0,96)

(F'_R/F_R) : corrección captador-intercambiador (normal 0,95)

D_2 = Pérdidas de energía del colector al mes (MJ/mes)/ Energía demandada al mes (MJ/mes)

4. Cálculo del parámetro D_2 :

D_2 : Energía perdida por el captador /Carga calorífica

$$E_p = S \cdot F'_R \cdot U \cdot (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \quad (41)$$

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_c} \quad (42)$$

$$F'_R \cdot U = F_R \cdot U \cdot (F'_R/F_R) \quad (43)$$



$$K_1 = \left[\frac{(kg \text{ acumulación})}{(75 \cdot S)} \right]^{-0,25} \quad (44)$$

$$37,5 < \frac{(kg \text{ acumulación})}{(m^2 \text{ captador})} < 300 \quad (45)$$

E_p : energía perdida.

S :superficie de captación.

T_{ref} : t^a de referencia (normalmente 100°C).

T_a : t^a ambiente.

Δt :intervalo de tiempo estudiado (en segundos)

K_1 :factor de corrección por almacenamiento.

Q_c :carga calorífica

5. Determinación de f :

$$f = 1,029 \cdot D_1 + 0,65 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3 \quad (46)$$

Calor útil captado:

$$Q_u = f \cdot Q_c \quad (47)$$

6. Cobertura solar mensual:

$$\text{Aporte solar mensual} = \frac{Q_u}{Q_c} = f \quad (48)$$

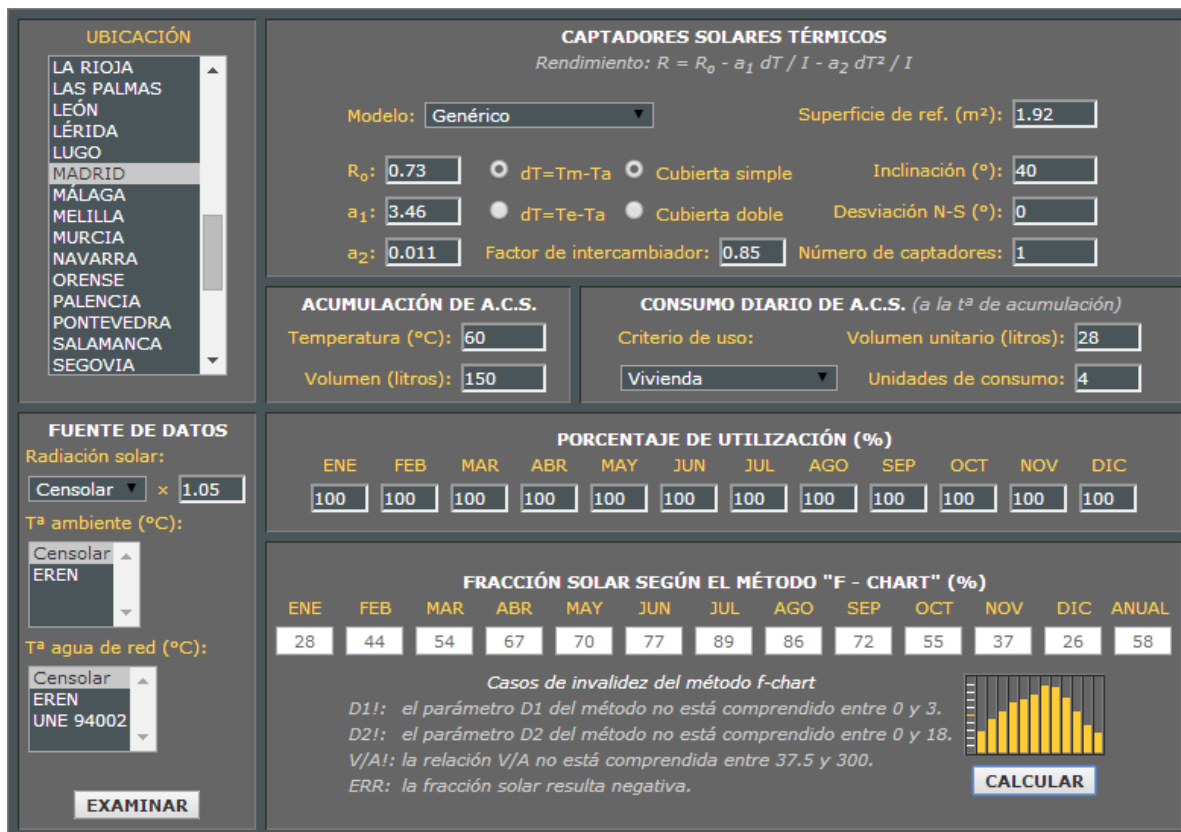
7. Cobertura solar anual:

$$\text{Aporte solar anual} = \frac{\sum_{m=1}^{12} Q_{u_m}}{\sum_{m=1}^{12} Q_{c_m}} \quad (49)$$

Una vez calculado el aporte solar anual se itera con el número de colectores hasta conseguir el aporte solar deseado.

Para ello se empleará la aplicación web de la prestigiosa empresa española CENSOLAR (12).

Primero, como se ha comentado anteriormente se deberá comprobar si nuestra instalación cubre el 50% de la demanda energética. Para ello se introduce en la aplicación los parámetros correspondientes a la eficiencia y pérdidas del captador solar elegido, así como la inclinación seleccionada. Al mismo tiempo se inserta los datos de ACS que han sido dimensionados en apartados interiores (150 l de volumen del acumulador solar y $28 \cdot 4 = 112$ L de consumo diario).



UBICACIÓN

LA RIOJA
LAS PALMAS
LEÓN
LÉRIDA
LUGO
MADRID
MÁLAGA
MELILLA
MURCIA
NAVARRA
ORENSE
PALENCIA
PONTEVEDRA
SALAMANCA
SEGOVIA

CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS
Rendimiento: $R = R_0 - a_1 dT / I - a_2 dT^2 / I$

Modelo: Genérico Superficie de ref. (m²): 1.92

R_0 : 0.73 $dT = T_m - T_a$ Cubierta simple Inclinación (°): 40
 a_1 : 3.46 $dT = T_e - T_a$ Cubierta doble Desviación N-S (°): 0
 a_2 : 0.011 Factor de intercambiador: 0.85 Número de captadores: 1

ACUMULACIÓN DE A.C.S.
Temperatura (°C): 60
Volumen (litros): 150

CONSUMO DIARIO DE A.C.S. (a la tª de acumulación)
Criterio de uso: Vivienda Volumen unitario (litros): 28
Unidades de consumo: 4

FUENTE DE DATOS
Radiación solar: Censolar x 1.05
Tª ambiente (°C): Censolar
Tª agua de red (°C): Censolar
EREN
UNE 94002

PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN (%)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

FRACCIÓN SOLAR SEGÚN EL MÉTODO "F - CHART" (%)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
28	44	54	67	70	77	89	86	72	55	37	26	58

Casos de invalidez del método f-chart
D1!: el parámetro D1 del método no está comprendido entre 0 y 3.
D2!: el parámetro D2 del método no está comprendido entre 0 y 18.
V/A!: la relación V/A no está comprendida entre 37.5 y 300.
ERR: la fracción solar resulta negativa.

EXAMINAR **CALCULAR**

ILUSTRACIÓN 23: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN CENSOLAR PARA ACS

Como se puede apreciar, con esta estimación de nuestra instalación se obtendría un 58% de cobertura solar anual. Por tanto, se consigue superar el 50% mínimo exigible por el CTE.

Una vez obtenidos los resultados mediante la aplicación web del método f-chart (12) se comprueba que:

- La fracción solar anual es del 58% para un ángulo de inclinación de 40° por lo que se ajusta al 50% establecido en el CTE. (5)
- De acuerdo con el CTE no se puede exceder el 100 % de la fracción solar en más de tres meses. La máxima cobertura solar se obtiene en Julio con un 89% y nunca se sobrepasa el 100%.
- Tampoco se rebasa el 110% de la cobertura solar en ningún mes.



Por lo tanto se puede concluir que el número y parámetros del colector solar plano así como de la instalación de ACS escogida se ajustan a la normativa recogida en el CTE.

7.3.2.- DIMENSIONAMIENTO DEL Nº COLECTORES SUELO RADIANTE

Cálculo del nº de colectores necesarios para cubrir la demanda de calefacción

Para ello, se usará de nuevo el método f-chart (ACS) extrapolado a la demanda de calefacción. Para ello serán tenidas en cuenta las premisas en todo momento de que el número de colectores calculado no cubra el 100% en más de tres meses. Así mismo nunca se deberá sobrepasar más del 110% en ningún mes del año. Al mismo tiempo ha de cubrirse con nuestras placas solares más del 50% de la demanda de calefacción al que el CTE HSE4 nos obliga.

A continuación se hará un desglose paso a paso de todos los cálculos realizados para la obtención de la cantidad de placas solares necesarias. La demanda energética intermedia sucede en el mes de Abril por lo que los cálculos se realizarán para para unas pérdidas energéticas de 4811,26 W. Se ha realizado el dimensionamiento de la instalación de suelo radiante para el mes de Abril ya que si se hubiera elegido Enero, que es el mes más crítico, se hubieran obtenido un 100% de rendimiento en dicho mes, sobrepasando el 110% en el resto de meses el máximo exigido por el CTE.

Los procedimientos que siguen a partir de este punto para la aplicación del método f-chart son los mismos que los explicados en el apartado 7.3.1

Dimensionado: Método f-Chart

1. Carga calorífica: la carga calorífica será la energía mensual y anual que precisa nuestra vivienda en términos de calefacción. Para ello se calculará la masa de agua equivalente para el mes de Abril que se ha tomado como referencia:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (50)$$

Q:flujo calorífico (W)

\dot{m} :flujo másico (l/s)

C_p :calor específico del agua a presión constante (4186 J/kg·K)



ΔT : salto térmico de temperatura que debe aportar la instalación solar térmica para calentar el agua que pasa por el intercambiador de calor.

$$\dot{m} = \frac{4811,26}{4186 \cdot 10} = 0,115 \text{ l/s} \quad (51)$$

Masa agua equivalente(l/s)	Horas	s	Flujo másico (l/día)	Flujo másico (m3/día)
0,11	24	3600	9930,56	9,93

TABLA 45: FLUJO MÁSIICO DEL AGUA DIARIO PARA EL CÁLCULO DEL NÚMERO DE COLECTORES

$$Q_a = \dot{m}_m \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (52)$$

Q_a : energía necesaria al mes (MJ).

ρ : densidad (kg/m³).

c_p : calor específico a presión constante (J/kg·°C).

ΔT : salto térmico al que ha de calentarse el agua.

Mes	Nºdías	Consumo mensual(m3)	ρ (kg/m3)	C_p (J/kg*°C)	ΔT	Q_a (MJ)
Enero	31	307,85	1000	4186	10	12886,49
Febrero	28	278,06	1000	4186	10	11639,41
Marzo	31	307,85	1000	4186	10	12886,49
Abril	30	297,92	1000	4186	10	12470,80
Mayo	31	307,85	1000	4186	10	12886,49
Junio	30	297,92	1000	4186	10	12470,80
Julio	31	307,85	1000	4186	10	12886,49
Agosto	31	307,85	1000	4186	10	12886,49
Septiembre	30	297,92	1000	4186	10	12470,80
Octubre	31	307,85	1000	4186	10	12886,49
Noviembre	30	297,92	1000	4186	10	12470,80
Diciembre	31	307,85	1000	4186	10	12886,49
Total	-	-	-	-	-	151728,05

TABLA 46: ENERGÍA NECESARIA AL CABO DE UN AÑO PARA SUELO RADIANTE



2. Radiación incidente: existen distintos métodos de obtención. El más común es mediante tablas.

3. Cálculo del parámetro D_1 :

D_1 =Energía absorbida por el colector /Carga calorífica

$$E_a = S \cdot F'_R \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot E_{dia} \cdot N \cdot K \quad (53)$$

$$F'_R \cdot (\tau \cdot \alpha) = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n \cdot [(\tau \cdot \alpha)/(\tau \cdot \alpha)_n] \cdot (F'_R/F_R) \quad (54)$$

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_c} \quad (55)$$

E_a : energía absorbida.

S : superficie de captación.

E_{dia} : energía solar media diaria.

N : número de días del mes.

K : factor de corrección en función de la latitud.

Q_a : carga calorífica.

$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$: eficiencia óptima del captador (0,725)

$(\tau \cdot \alpha)/(\tau \cdot \alpha)_n$: modificador ángulo de incidencia (normal 0,96)

(F'_R/F_R) : corrección captador-intercambiador (normal 0,95)



Mes	$Fr'(\alpha)$	Edia (40°)(MJ/m2día)	N	K(40°)	Ea/S	Nºplacas	Sc(m2)	Ea(X placas)	Qa(MJ)	$D_1=(Ea/Qa)$
Enero	0,66	13,28	31	1,65	449,27	7	1,92	6038,19	12886,49	0,47
Febrero	0,66	17,82	28	1,43	471,77	7	1,92	6340,65	11639,41	0,54
Marzo	0,66	20,88	31	1,22	522,14	7	1,92	7017,53	12886,49	0,54
Abril	0,66	22,18	30	1,09	479,47	7	1,92	6444,11	12470,80	0,52
Mayo	0,66	22,46	31	0,93	428,22	7	1,92	5755,25	12886,49	0,45
Junio	0,66	24,55	30	0,88	428,57	7	1,92	5760,01	12470,80	0,46
Julio	0,66	26,06	31	0,86	459,45	7	1,92	6174,95	12886,49	0,48
Agosto	0,66	25,78	31	0,99	523,05	7	1,92	7029,83	12886,49	0,55
Septiembre	0,66	23,69	30	1,12	526,26	7	1,92	7072,94	12470,80	0,57
Octubre	0,66	19,08	31	1,32	516,23	7	1,92	6938,19	12886,49	0,54
Noviembre	0,66	14,87	30	1,56	460,08	7	1,92	6183,45	12470,80	0,50
Diciembre	0,66	12,89	31	1,77	467,58	7	1,92	6284,24	12886,49	0,49

TABLA 47: DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO D1

4. Cálculo del parámetro D_2 :

D_2 = Pérdidas de energía del colector al mes (MJ/mes) / Energía demandada al mes (MJ/mes)

4. Cálculo del parámetro D_2 :

D_2 : Energía perdida por el captador /Carga calorífica

$$E_p = S \cdot F'_R \cdot U \cdot (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (56)$$

$$F'_R \cdot U = F_R \cdot U \cdot (F'_R/F_R) \quad (57)$$

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_c} \quad (58)$$

$$K_1 = \left[\frac{(kg \text{ acumulación})}{(75 \cdot S)} \right]^{-0,25} \quad (59)$$

$$37,5 < \frac{(kg \text{ acumulación})}{(m^2 \text{ captador})} < 300 \quad (60)$$

$F_R \cdot U$: curva de rendimiento del captador solar (3,5)

F'_R/F_R : factor de corrección del captador y el intercambiador (0,95)

E_p : energía perdida.

S : superficie de captación.

T_{ref} : t^a de referencia (normalmente $100^{\circ}C$).

T_a : t^a ambiente.

Δt : intervalo de tiempo estudiado (en segundos)

K_1 : factor de corrección por almacenamiento (se considerará igual a 1 ya que no hay sistema de almacenamiento de agua)

K_2 : factor de corrección que relaciona la temperatura de acumulación del agua en el colector, la temperatura del agua fría de red y la temperatura ambiente



$$K_2 = (11,6 + 1,18 \cdot T_{ac} + 3,86 \cdot T_r - 2,32 \cdot T_a)/(100 - T_a)$$

T_{ac} : temperatura de acumulación del agua en el colector (32°C)

T_r : temperatura del agua fría de red (°C)

T_a : temperatura ambiente (°C)

Q_c : carga calorífica



Mes	Fr'*UI	Text	Δt	K1	K2	Ep/Sc	Nºplacas	Sc(m2)	Ep(X placas)	Qa(MJ)	$D_2=(Ep/Qa)$
Enero	3,68	5,7	2,5	1	0,69	595,52	7	1,92	8003,73	12886,49	0,62
Febrero	3,68	7,5	2,5	1	0,65	557,05	7	1,92	7486,79	11639,41	0,64
Marzo	3,68	10,2	2,5	1	0,69	570,46	7	1,92	7667,02	12886,49	0,59
Abril	3,68	12,1	2,5	1	0,74	600,97	7	1,92	8077,02	12470,80	0,65
Mayo	3,68	16	2,5	1	0,76	588,74	7	1,92	7912,62	12886,49	0,61
Junio	3,68	21,3	2,5	1	0,80	582,14	7	1,92	7823,99	12470,80	0,63
Julio	3,68	25,2	2,5	1	0,88	605,46	7	1,92	8137,42	12886,49	0,63
Agosto	3,68	24,8	2,5	1	0,84	578,46	7	1,92	7774,47	12886,49	0,60
Septiembre	3,68	20,7	2,5	1	0,81	594,96	7	1,92	7996,30	12470,80	0,64
Octubre	3,68	14,8	2,5	1	0,74	578,83	7	1,92	7779,43	12886,49	0,60
Noviembre	3,68	9,5	2,5	1	0,70	585,42	7	1,92	7868,06	12470,80	0,63
Diciembre	3,68	6,6	2,5	1	0,67	576,28	7	1,92	7745,26	12886,49	0,60

TABLA 48: DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO D_2

5. Determinación de f:

$$f = 1,029 \cdot D_1 + 0,65 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3 \quad (61)$$

Mes	D2=(Ep/Qa)	D1=(Ea/Qa)	F
Enero	0,62	0,47	0,58
Febrero	0,64	0,54	0,68
Marzo	0,59	0,54	0,68
Abril	0,65	0,52	0,64
Mayo	0,61	0,45	0,55
Junio	0,63	0,46	0,57
Julio	0,63	0,48	0,59
Agosto	0,60	0,55	0,68
Septiembre	0,64	0,57	0,71
Octubre	0,60	0,54	0,67
Noviembre	0,63	0,50	0,62
Diciembre	0,60	0,49	0,60

TABLA 49: FRACCIÓN DE ENERGÍA SOLAR APORTADA POR LA INSTALACIÓN

A partir de la estimación de 7 placas se alcanza un rendimiento superior al 50% exigido por el CTE. Además en ningún mes se sobrepasa el 110% ni se supera en más de tres meses el 100% de la instalación. La fracción de energía aportada por la instalación será de un 63%.



7.3.3 SISTEMA HIDRÁULICO

A.C.S.

Consta de un circuito primario formado por un colector solar térmico ubicado en la cara sur de la cubierta de la vivienda, orientado a 40° con respecto a la horizontal. Por su interior, circula el fluido caloportador que tiene como misión calentar el agua del depósito acumulador de ACS y para que esto suceda, el circuito se cierra en un intercambiador de calor alojado dentro del depósito. El fluido caloportador circula a través del circuito primario impulsado por una bomba que es comandada por una unidad de control.

El agua de red entra fría en el depósito y es calentada a una temperatura máxima de 60° para ser distribuida al consumidor final a través de la caldera de apoyo que en caso de necesidad regularía la temperatura de salida.

CALEFACCIÓN

El sistema de calefacción elegido es el suelo radiante con el apoyo de colectores solares térmicos. Se establece un circuito primario formado por 7 colectores solares térmicos puestos en paralelo que tienen como misión calentar el fluido caloportador que transferirá toda la energía en el intercambiador de calor. Al igual que en el circuito primario de ACS este fluido está en movimiento mediante una bomba de circulación comandado por la unidad de control.

Por el otro lado del intercambiador de calor se establece un circuito secundario que hará circular el agua hasta llegar a dos distribuidores ubicados en la planta de acceso y planta 1ª, con presión suficiente para recorrer los 4 y los 5 circuitos respectivos de suelo radiante correspondiente al diseño de la calefacción.

Esta presión será proporcionada por una bomba comandada por la unidad de control y completará su recorrido a través de la caldera de apoyo que suplirá la necesidad de temperatura del circuito secundario.



8.- ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL.

Como se ha comentado en apartados anteriores, la energía solar se trata de una de las fuentes de energía que mayor disponibilidad presentan diariamente. No daña al medio ambiente, por lo que supone una de las energías más limpias en el mundo. Actualmente, una de las premisas que se están llevando a cabo es la reducción de las emisiones de CO₂ de tal manera que se disminuya la reducción de la capa de ozono.

Sus principales beneficios son los siguientes:

- Es una energía que proviene directamente del sol.
- No requiere de extracciones y almacenamientos caros.
- No emiten gases contaminantes perjudiciales para la salud.
- Las instalaciones que la emplean no producen impacto ambiental.
- No produce desperdicios que dificulten su eliminación.

8.1.-ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL PARA ACS

Mes	En mes (MJ/mes)	Potencia cubierta instalación solar	Potencia cubierta por la caldera
Enero	754,67	211,31	543,37
Febrero	681,64	299,92	381,72
Marzo	725,65	391,85	333,80
Abril	674,15	451,68	222,47
Mayo	667,60	467,32	200,28
Junio	603,93	465,02	138,90
Julio	580,52	516,66	63,86
Agosto	595,03	511,73	83,30
Septiembre	603,93	434,83	169,10
Octubre	682,11	375,16	306,95
Noviembre	702,24	259,83	442,41
Diciembre	740,16	192,44	547,72
Total (MJ/año)	8011,62	4577,75	3433,87
Total (KWH/año)	2225,45	1271,60	953,85

TABLA 50: RELACIÓN DE POTENCIAS PARA ACS

El objetivo de estudio del impacto ambiental será analizar la cantidad de partículas de CO₂ evitadas de emitir a la atmósfera mediante el uso de la instalación de colectores solares

planos que se propone. La siguiente tabla muestra la cantidad de emisiones de CO₂ emitidas por distintos combustibles (4):

Combustible	Factor (kg/GJ)
Carbón	
Antracita	97,3
Carbón nacional	112
Carbón de importación	99
Coque de petróleo	100,3
Biomasa (madera)	96
Fuel Oil	77
Gas Oil	73,7
LPG genérico	62,8
Propano	63,6
Butano	66,2
Gas Natural	56

TABLA 51: FACTORES DE EMISIÓN PROPUESTOS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE CO₂(JUNTA ANDALUCÍA)

Partículas emitidas de gas natural durante el funcionamiento de la caldera de apoyo auxiliar.

$$Emisiones\ de\ CO_2 = Energía\ requerida\ por\ la\ caldera(MJ) \cdot 0,056\left(\frac{kg}{MJ}\right) \quad (62)$$

	Potencia demanda (MJ/año)	η	Potencia requerida por la caldera (MJ/año)	Emisiones CO ₂ (Kg)
Sin sistema solar	8011,62	0,75	10682,16	598,20
Con sistema solar	3433,87	0,75	4578,50	256,40

TABLA 52: EMISIONES DE CO₂

$$Ahorro\ anual\ CO_2 = 598,2 - 256,4 = 341,8\ Kg/año \quad (63)$$

$$\text{Reducción emisiones } CO_2 = \frac{341,8}{598,2} = 0,57 \quad (64)$$

Se obtiene una reducción de las emisiones de CO₂ de un 57% anual.

A los 20 años se habrá alcanzado un ahorro de emisiones de aproximadamente 6,84 toneladas de CO₂.

8.2.- ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL PARA SUELO RADIANTE

$$\text{Emisiones de } CO_2 = \text{Energía requerida por la caldera (MJ)} \cdot 0,056 \left(\frac{kg}{MJ} \right) \quad (65)$$

Mes	Qa(MJ)	Potencia cubierta instalación solar	Potencia cubierta por la caldera
Enero	12886,49	7466,91	5419,59
Febrero	11639,41	7909,21	3730,21
Marzo	12886,49	8711,13	4175,37
Abril	12470,80	8021,12	4449,68
Mayo	12886,49	7102,31	5784,18
Junio	12470,80	7125,37	5345,43
Julio	12886,49	7650,45	5236,04
Agosto	12886,49	8734,59	4151,90
Septiembre	12470,80	8841,60	3629,20
Octubre	12886,49	8614,56	4271,93
Noviembre	12470,80	7669,70	4801,09
Diciembre	12886,49	7763,82	5122,67
Total (MJ/año)	151728,05	95610,75	56117,30
Total (KWH/año)	42146,68	26558,54	15588,14

TABLA 53: CÁLCULO DE POTENCIA PARA EMISIONES DE CO₂ (I)



	Potencia demanda (MJ/año)	η	Potencia requerida por la caldera (MJ/año)	Emisiones CO ₂ (Kg)
Sin sistema solar	151728,05	0,75	202304,07	11329,03
Con sistema solar	56117,30	0,75	74823,06	4190,09

TABLA 54: COMPARATIVA DE EMISIONES DE CO₂

$$\text{Ahorro anual } CO_2 = 11329,03 - 4190,09 = 7138,94 \text{ Kg/año} \quad (66)$$

$$\text{Reducción emisiones } CO_2 = \frac{7138,94}{11329,03} = 0,63 \quad (67)$$

En 20 años se ahorrarán 142,8 toneladas de CO₂

9.- ANÁLISIS ECONÓMICO.

9.1 AHORRO ECONÓMICO PARA ACS

$$En_m \cdot f = V \cdot PCI \cdot \eta_{cald} \quad (68)$$

En_m : energía necesaria al mes

f : cobertura solar mensual

V : volumen de gas natural para producir esa energía

PCI : poder calorífico inferior del gas natural

η_{cald} : rendimiento de la caldera

ρ_{GN} : 0,78 kg/m³

De la expresión anterior se obtiene el volumen de gas natural que será cubierto por la instalación solar térmica y que por lo tanto supondría un ahorro:

Mes	En mes (MJ/mes)	f (40°)	Volumen gas (m3)	Potencia cubierta instalación solar
Enero	754,67	0,28	9,41	211,31
Febrero	681,64	0,44	13,35	299,92
Marzo	725,65	0,54	17,45	391,85
Abril	674,15	0,67	20,11	451,68
Mayo	667,60	0,70	20,81	467,32
Junio	603,93	0,77	20,70	465,02
Julio	580,52	0,89	23,00	516,66
Agosto	595,03	0,86	22,78	511,73
Septiembre	603,93	0,72	19,36	434,83
Octubre	682,11	0,55	16,70	375,16
Noviembre	702,24	0,37	11,57	259,83
Diciembre	740,16	0,26	8,57	192,44
Total (MJ/año)	8011,62	-	203,81	4577,75
Total (KWH/año)	2225,45	-	-	1271,60

TABLA 55: POTENCIA CUBIERTA POR LA INSTALACIÓN SOLAR

A continuación se analizarán las ventajas que proporcionará nuestra instalación desde el punto de vista económico y energético.

Seguidamente se consultará el BOE (3) para el cálculo de las tarifas por KWh del Gas natural:

	Tarifa	
	Fijo (€/Cliente)/mes	Variable cent./KWh
T.1 Consumo inferior o igual a 5.000 KWh/año	4,38	5,727308
T.2 Consumo superior a 5.000 kWh/año e inferior o igual a 50.000 kWh/año.	8,88	5,039908
T.3 Consumo superior a 50.000 kWh/año e inferior o igual a 100.000 kWh/año	60,38	4,420660
T.4 Consumo superior a 100.000 kWh/año	181,72	4,110160

TABLA 56: TARIFAS KWH DE GAS NATURAL (BOE)

Aplicando la expresión anterior se alcanza el ahorro de combustible que se produce para el caso del colector solar inclinado 40°, ya que el volumen que se ha calculado es el hipotético que sería cubierto por el sistema de captación solar térmica.

Se consumirán 2225,45 KWh/ año por lo que se deberá acudir al primero de los casos (3) como se resuelve a continuación:

Precio del consumo total anual de A.C.S. sin instalación térmica solar:

$$\text{Coste anual} = 2225,45 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \cdot \frac{5,727308 \text{ cent}}{\text{kwh}} \cdot \frac{1\text{€}}{100 \text{ cent}} = 127,45\text{€/año} \quad (69)$$

$$\text{Ahorro} = \frac{1271,60 \text{ KWh}}{\text{año}} \cdot \frac{5,727308 \text{ cent}}{\text{KWh}} \cdot \frac{1\text{€}}{100 \text{ cent}} = 72,82\text{€} \quad (70)$$

9.2 AHORRO ECONÓMICO PARA SUELO RADIANTE

$$En_m \cdot f = V \cdot PCI \cdot \eta_{cald} \quad (71)$$

En_m : energía necesaria al mes

f : cobertura solar mensual

V : volumen de gas natural para producir esa energía

PCI : poder calorífico inferior del gas natural

η_{cald} : rendimiento de la caldera

ρ_{GN} : 0,78 kg/m³

Mes	En mes (MJ/mes)	η caldera	f (40°)	Volumen gas (m3)	Potencia cubierta instalación solar
Enero	12886,49	0,75	0,58	332,44	7466,91
Febrero	11639,41	0,75	0,68	352,13	7909,21
Marzo	12886,49	0,75	0,68	387,83	8711,13
Abril	12470,80	0,75	0,64	357,11	8021,12
Mayo	12886,49	0,75	0,55	316,21	7102,31
Junio	12470,80	0,75	0,57	317,23	7125,37
Julio	12886,49	0,75	0,59	340,61	7650,45
Agosto	12886,49	0,75	0,68	388,88	8734,59
Septiembre	12470,80	0,75	0,71	393,64	8841,60
Octubre	12886,49	0,75	0,67	383,53	8614,56
Noviembre	12470,80	0,75	0,62	341,47	7669,70
Diciembre	12886,49	0,75	0,60	345,66	7763,82
Total (MJ/año)	151728,05	-	-	4256,75	95610,75
Total (KWH/año)	42146,68	-	-	-	26558,54

TABLA 57: POTENCIA CUBIERTA POR LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE

Para calefacción se estudiará el caso T.2 del BOE (3) ya que nuestro consumo de 41246,68 está entre 5000 y 50000 kWh/año

Precio del consumo total anual de calefacción sin instalación térmica solar:



$$\text{Coste anual} = 41246,68 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \cdot \frac{5,039908 \text{cent}}{\text{kwh}} \cdot \frac{1\text{€}}{100 \text{cent}} = 2078,79\text{€/año} \quad (72)$$

$$\text{Ahorro} = \frac{26558,54 \text{ KWh}}{\text{año}} \cdot \frac{5,039908 \text{cent}}{\text{KWh}} \cdot \frac{1\text{€}}{100 \text{cent}} = 1338,32\text{€/año} \quad (73)$$

10.- PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN

Para la elaboración del presupuesto se ha tenido en cuenta el coste que supone la incorporación de la energía solar térmica como medio de energía renovable en el proyecto de calefacción y agua caliente sanitaria para la vivienda, entendiéndose que es independiente del coste de la instalación de los elementos propios de la calefacción por suelo radiante y agua caliente sanitaria.

Se han consultado los catálogos técnicos de los productos ofertados así como sus listas de precios. Cabe destacar la marca SUMSOL para la incorporación de sus placas solares al proyecto, la marca ROTH que aporta importantes soluciones para el montaje del suelo radiante y elementos de control y la marca SALVADOR ESCODA con su amplia oferta de documentación técnica y tablas, ayudan a elegir los productos dentro del estándar como por ejemplo bombas de recirculación, vasos expansores, valvulería, tubería, aislante, etc.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO
Captadores solares térmicos marca MAXOL-TW	8	4.696 €
Soporte regulable para tejado con capacidad para 8 colectores	1	480 €
Depósito acumulador de 150 litros vitrificado mod IV-150 con intercambiador de la marca Salvador Escoda	1	395 €
Intercambiador de calor MOD MS IP 601 de SUMSOLAR	1	1.830 €
Vaso expansor marca Salvador Escoda MOD 12 SMF para ACS	1	35 €
Vaso expansor marca Salvador Escoda MOD 24 SMF para CALEFACCIÓN	1	45 €
Fluido caloportador MOD ECOGLICOL PLUS FLD 50 L	1	158 €
Bomba de circulación marca Salvador Escoda UPS Solar 25-120	2	1.664 €
Unidad de control marca Roth BW H con tres sondas de temperatura	1	262 €
P/A de tubería, válvulas de corte, válvulas de vaciado, válvulas de seguridad, purgadores, asilamiento, manómetros	P/A	660 €
P/A de mano de obra de montaje	P/A	3.500 €
SUMA	-	13.725 €
21% I.V.A	-	1,21
TOTAL	-	16607,25

TABLA 58: PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR



11.- CONCLUSIONES

A continuación se muestra un resumen de los cálculos descritos en este proyecto:

11.1.-CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA ACS

1.- Potencia anual necesaria para la producción de ACS:	2.225,45 Kw/año
2.- Potencia cubierta por la instalación solar:	1.271,60 Kw/año
3.- Potencia cubierta por la caldera de apoyo:	953,85 Kw/año
4.- Emisiones de CO ₂ anual sin sistema solar térmico:	598,20 Kg/año
5.- Emisiones de CO ₂ anual con sistema solar térmico:	256,40 Kg/año
6.- Coste anual de producción de ACS sin sistema solar térmico:	127,45 €
7.- Estimación de % de ahorro: 57 % equivalente a	72,82 €/año

Se supone un período de vida útil de la instalación de 20 años por tanto se tiene un ahorro de emisiones de CO₂ de 6,84 toneladas.

11.2.-CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA SUELO RADIANTE

1.- Potencia anual necesaria para la producción de calefacción:	42.146 Kw/año
2.- Potencia cubierta por la instalación solar:	26.558 Kw/año
3.- Potencia cubierta por la caldera de apoyo:	15.588 Kw/año
4.- Emisiones de CO ₂ anual sin sistema solar térmico:	11.329 Kg/año
5.- Emisiones de CO ₂ anual con sistema solar térmico:	4.190 Kg/año
6.- Coste anual de producción de calefacción sin sistema solar térmico:	2.078,79 €
7.- Estimación de % de ahorro: 63 % equivalente a	1.338,32 €/año

Se supone una período de vida útil de la instalación de 20 años por tanto se tiene un ahorro de emisiones de CO₂ de 142,8 toneladas.

11.3.- CONCLUSIONES SOBRE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO.

1.- Suma de las estimaciones anuales de ahorro producido por el sistema solar térmico:

$$\text{Ahorro} = 72,82 + 1338,32 = 1411,14\text{€} \quad (74)$$

2.- Coste de la instalación solar térmica:

$$\text{Coste} = 16607,25\text{€} \quad (75)$$

Se considera amortizada la instalación en un periodo de 11,76 años

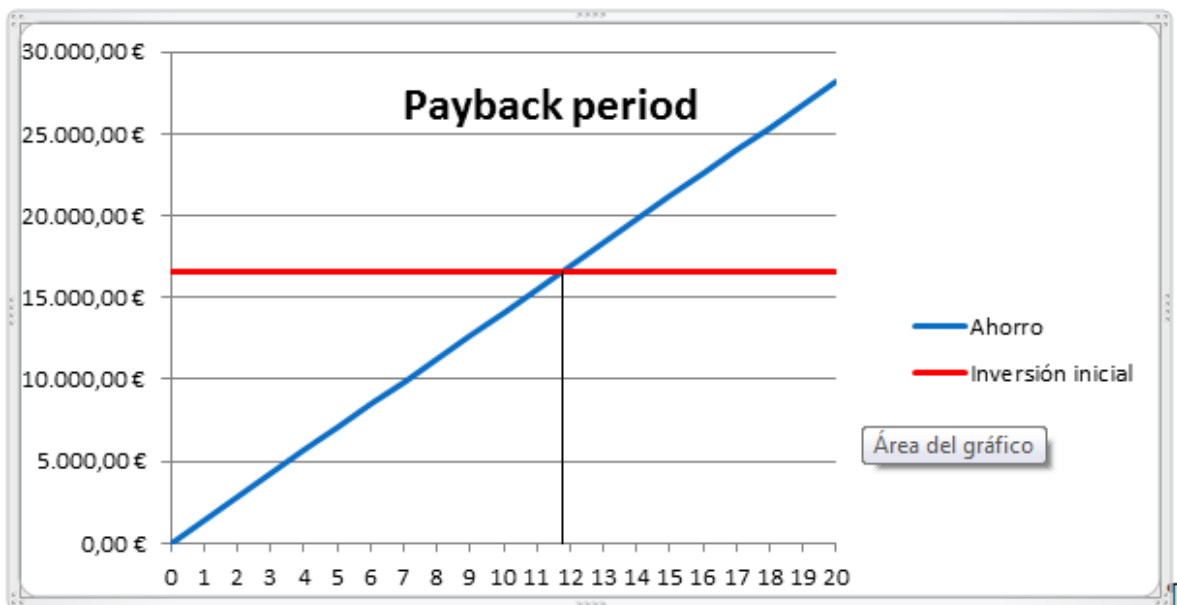


ILUSTRACIÓN 24: PAYBACK PERIOD (11,76 AÑOS)

No solo este estudio demuestra la viabilidad económica de un sistema de apoyo a la producción de agua caliente sanitaria y calefacción sino que lo más importante es el ahorro de emisiones de CO₂ al medio ambiente que si se extrapola al consumo anual de un país, debe



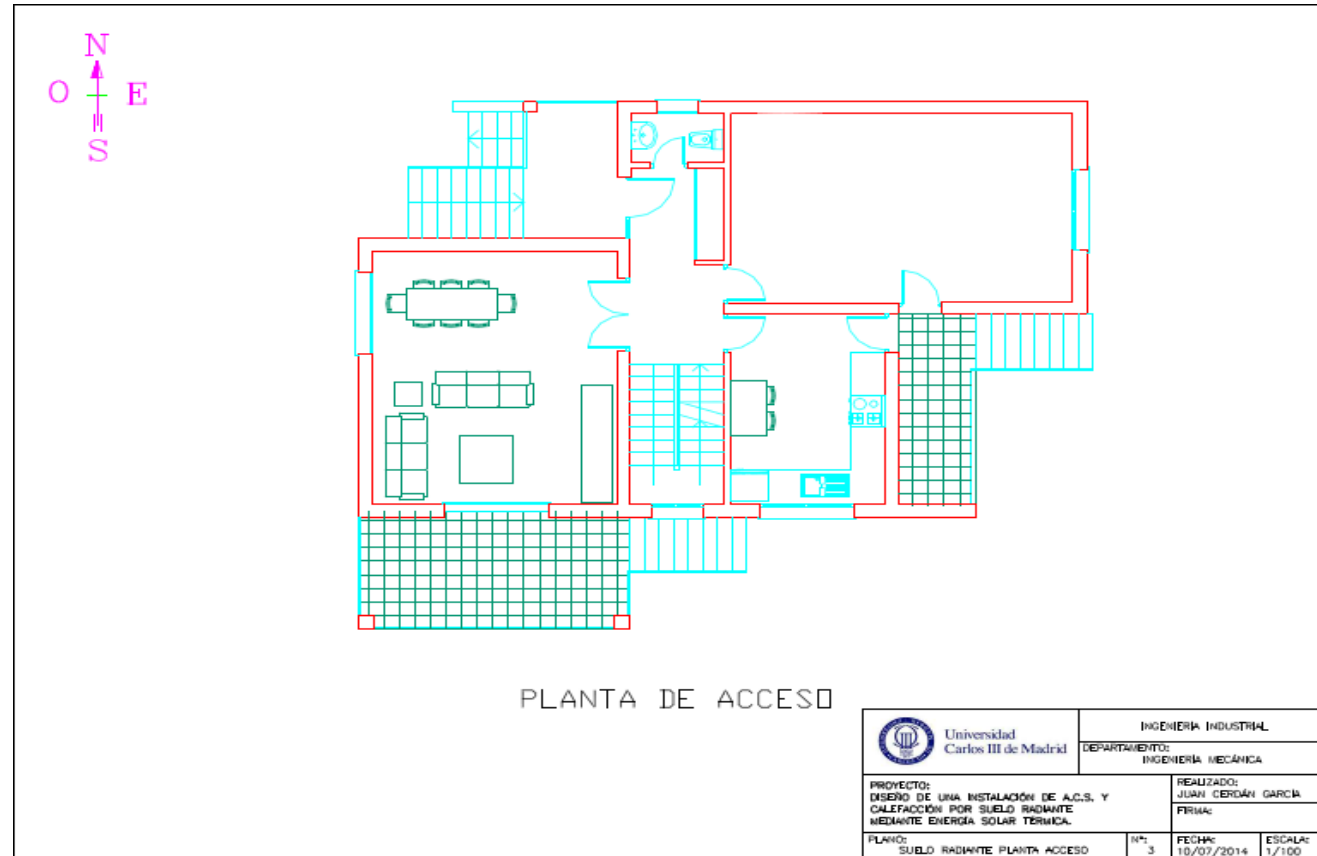
hacerse de obligado cumplimiento la implantación de medios alternativos renovables de apoyo.



12.- ANEXOS

ANEXO I: PLANOS DE LA VIVIENDA





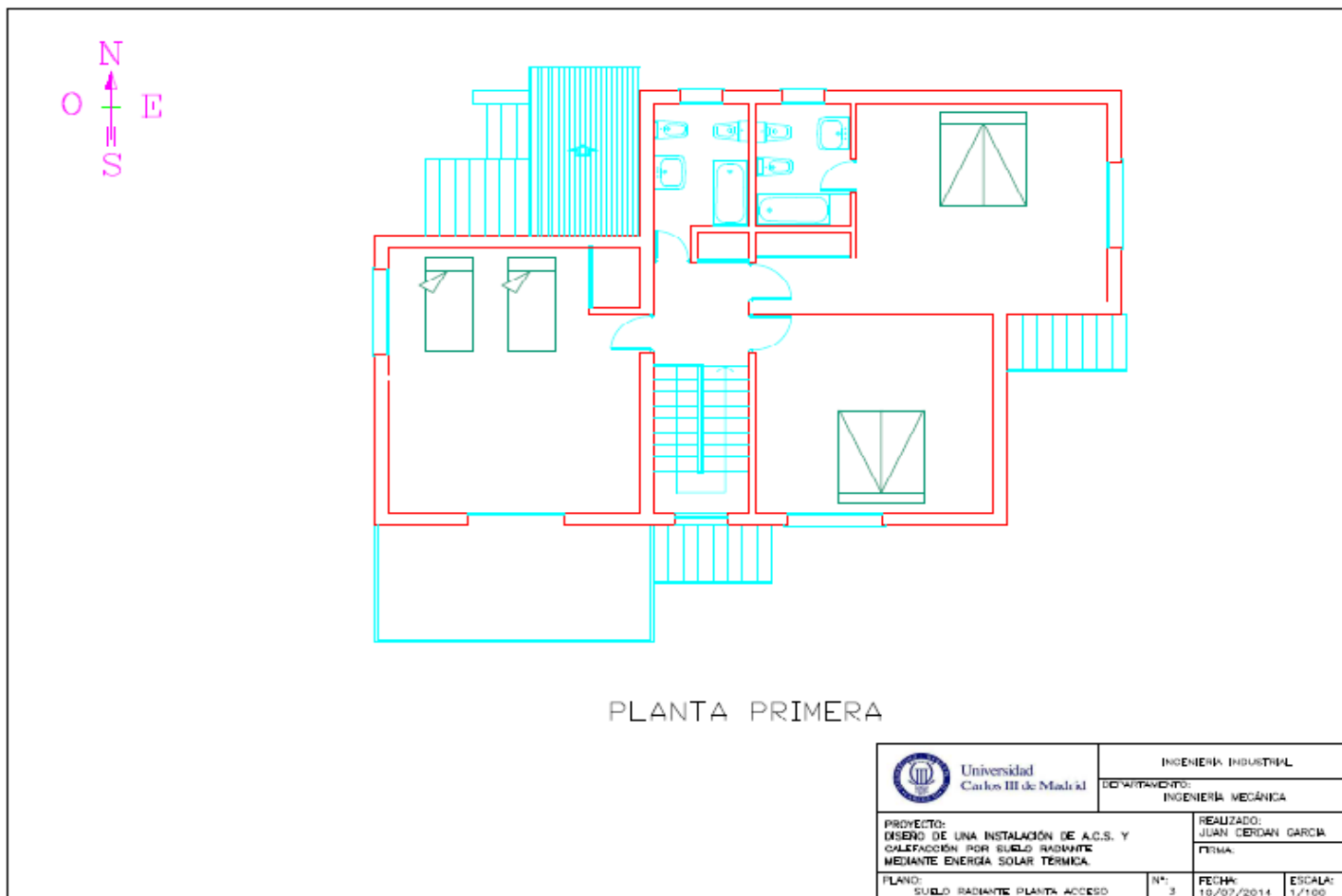
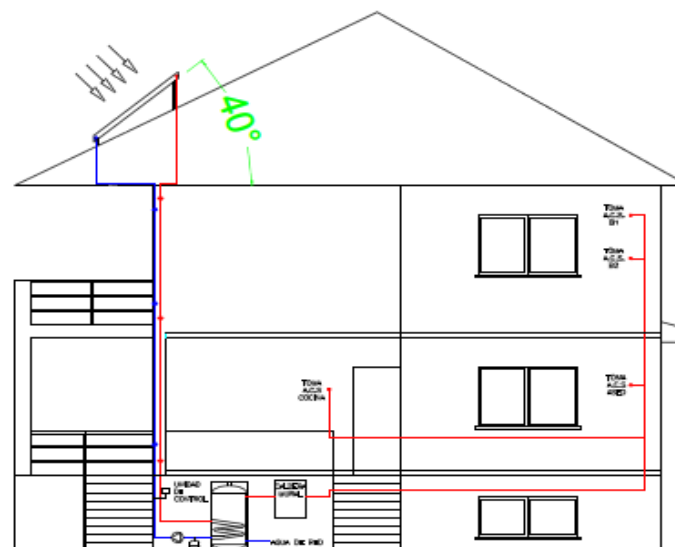


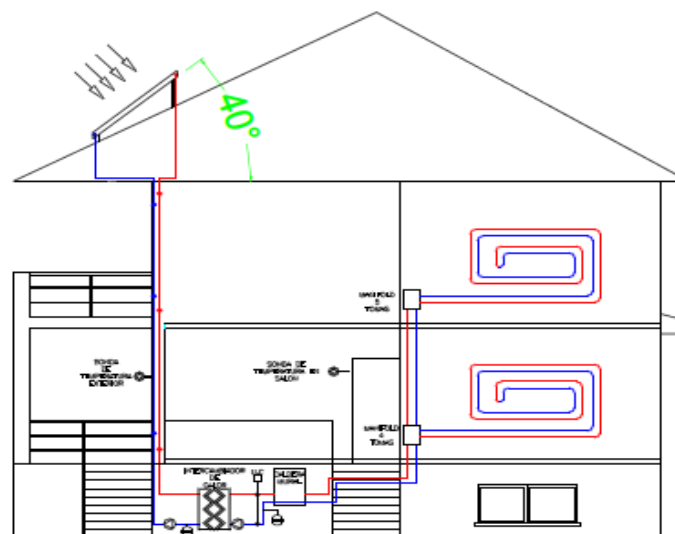
DIAGRAMA DE BLOQUE
DE LA INSTALACION DE
A.C.S.



ALZADO ESTE

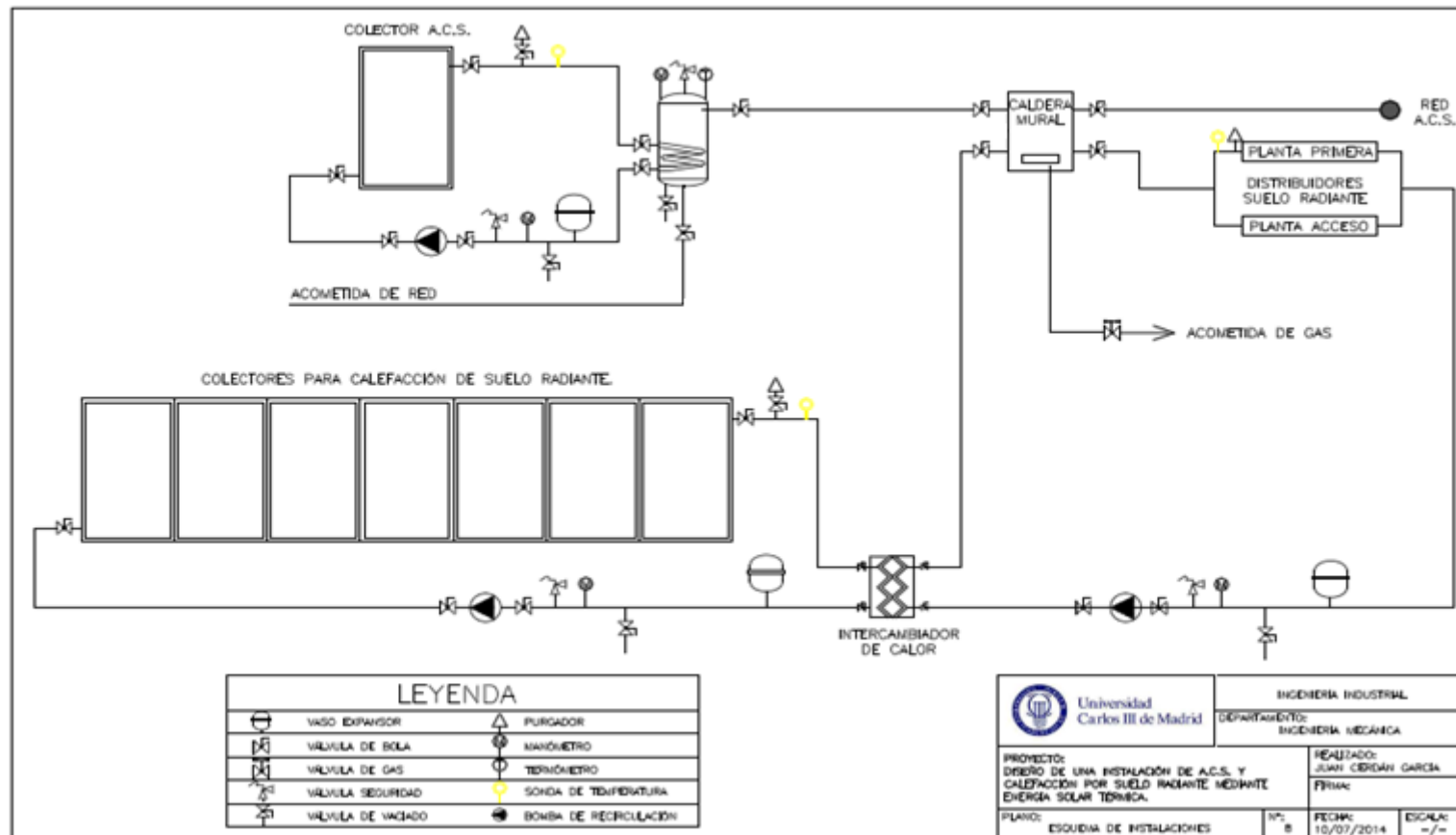
 Universidad Carlos III de Madrid	INGENIERIA INDUSTRIAL	
	DEPARTAMENTO: INGENIERIA MECÁNICA	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE A.C.S. Y CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE MEDIANTE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.	REALIZADO: JUAN CERDÁN GARCÍA	
	FIRMA:	
PLANO: SUELO RADIANTE PLANTA ACCESO	Nº: 3	FECHA: 10/07/2014
		ESCALA: 1/100

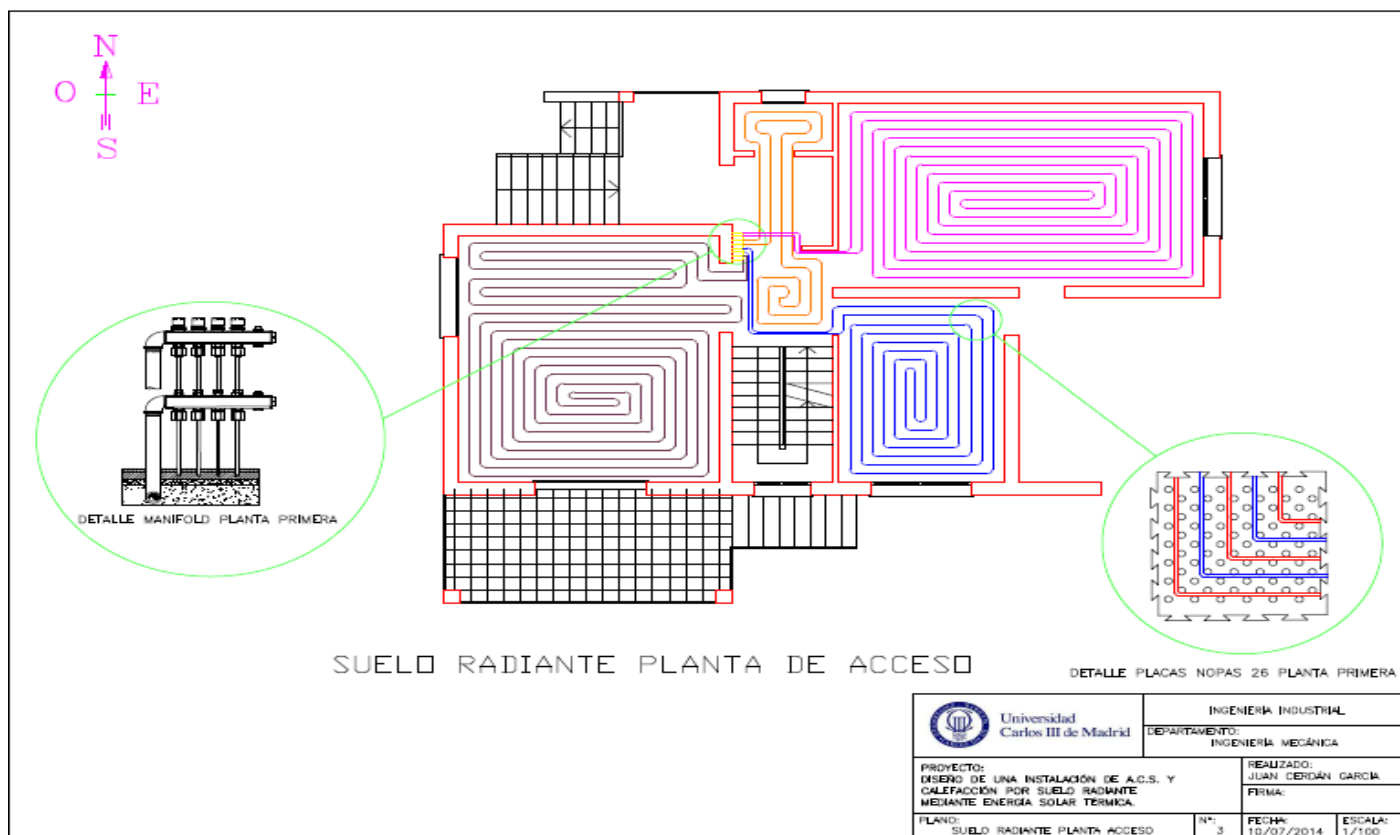
DIAGRAMA DE BLOQUE
DE LA INSTALACION DE
CALEFACCIÓN

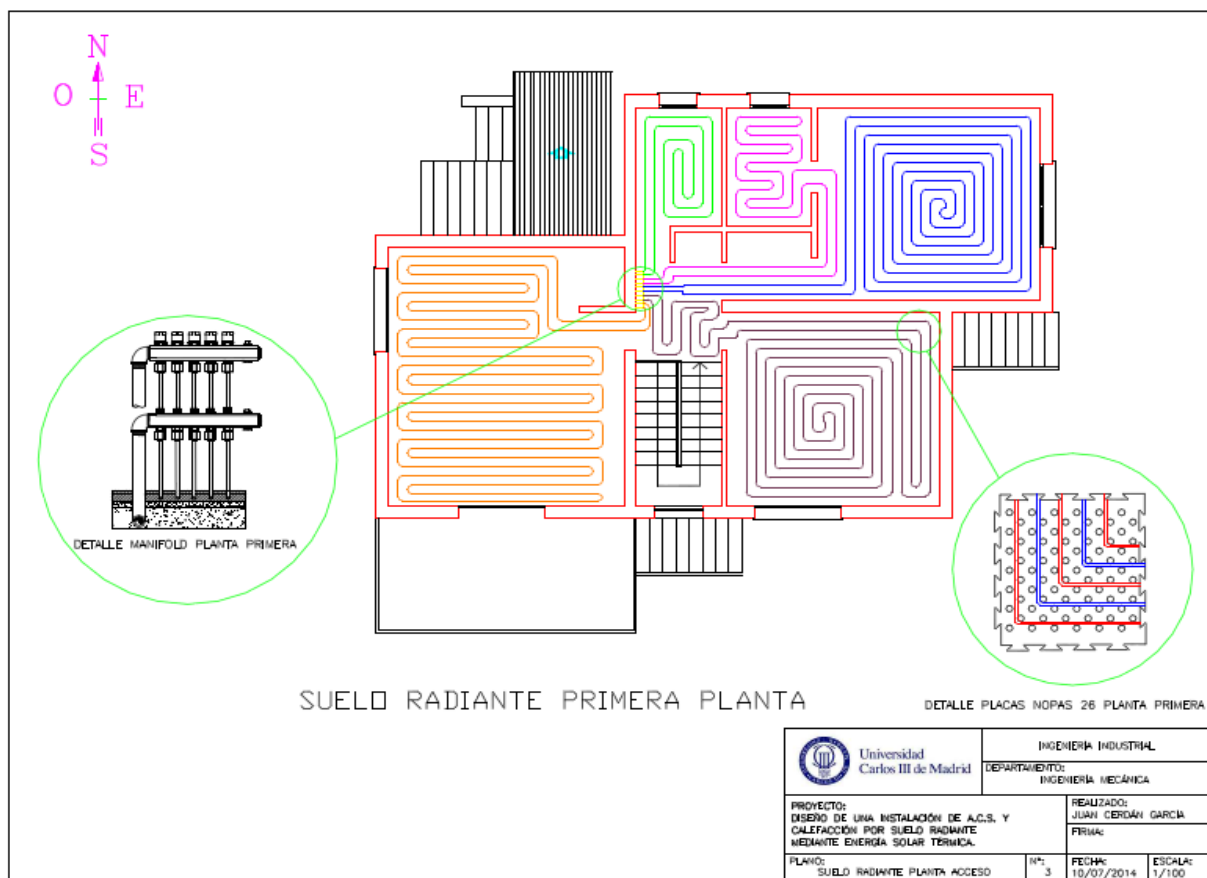


ALZADO ESTE

 Universidad Carlos III de Madrid	INGENIERIA INDUSTRIAL	
	DEPARTAMENTO: INGENIERIA MECÁNICA	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE A.C.S. Y CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE MEDIANTE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.	REALIZADO: JUAN CEROÁN GARCÍA	
	FIRMA:	
PLANO: SUELO RADIANTE PLANTA ACCESO	Nº: 3	FECHA: 10/07/2014
		ESCALA: 1/100







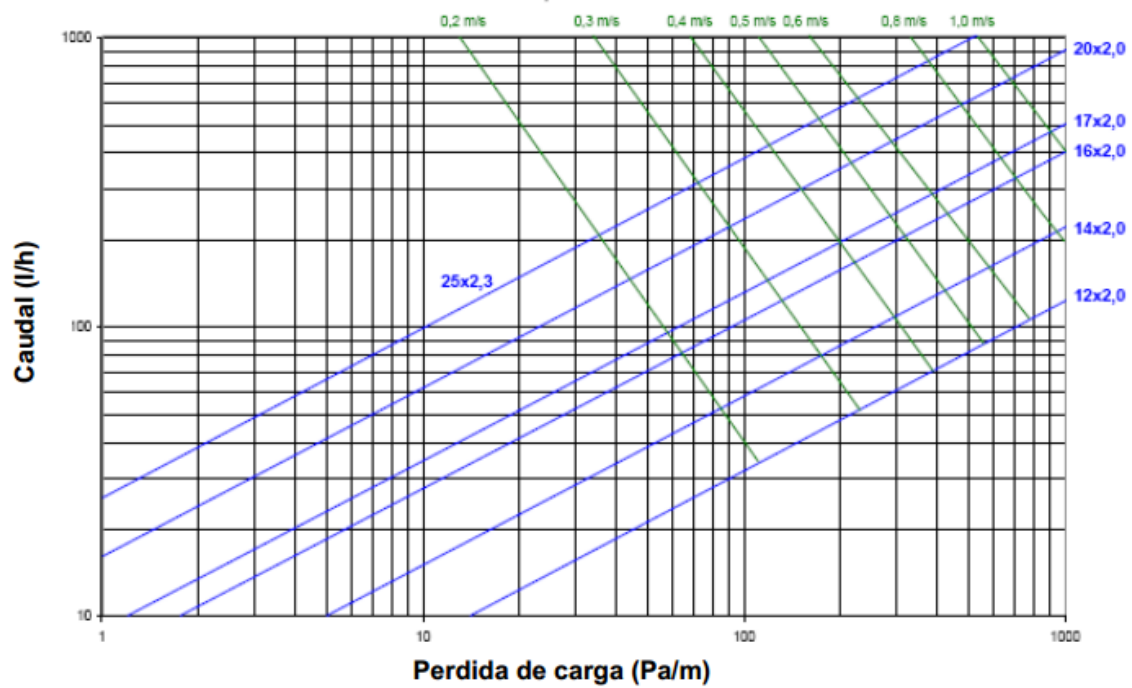
ANEXO II: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA SATURADA

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		Temp. °C
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. v_g	Líquido sat. u_f	Vapor sat. u_g	Líquido sat. h_f	Vapori- zación h_{fg}	Vapor sat. h_g	Líquido sat. s_f	Vapor sat. s_g	
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	.01
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514	4
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257	5
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003	6
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501	8
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008	10
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765	11
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524	12
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285	13
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048	14
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814	15
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582	16
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351	17
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123	18
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897	19
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672	20
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450	21
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229	22
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011	23
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794	24
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580	25
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367	26
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156	27
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946	28
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739	29
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533	30
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329	31
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127	32
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927	33
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728	34
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531	35
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336	36
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950	38
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570	40
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648	45

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		Temp. °C
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. v_g	Líquido sat. u_f	Vapor sat. u_g	Líquido sat. h_f	Vapori- zación h_{fg}	Vapor sat. h_g	Líquido sat. s_f	Vapor sat. s_g	
50	.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
55	.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
60	.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
65	.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
70	.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190

ANEXO III: PÉRDIDAS DE CARGA TUBOS DE PE-XC POLIETILENO RETICULADO (ROTH)

Grafico de perdida de carga



ANEXO IV: CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

CARACTERÍSTICAS DEL COLECTOR EMPLEADO

Para la elección del captador solar se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Durabilidad y rendimiento
- Facilidad de montaje y mantenimiento
- Durabilidad

Como posteriormente se demostrará, el colector empleado será el captador solar térmico MAXOL-TW de la empresa SumSol. En su catálogo de productos se encontrar disponible la información relativa al colector solar escogido para nuestra instalación:

Captador solar térmico MAXOL – TW		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	2.1 TW	2.51 TW
DIMENSIONES		
Longitud (mm)	1.988	1.988
Anchura (mm)	1.041	1.218
Altura (mm)	91	91
Peso (kg)	37,2	44
SUPERFICIE		
Área total (m ²)	2,07	2,42
Área de apertura (m ²)	1,92	2,23
Área del absorbedor (m ²)	1,92	2,23
CUBIERTA		
Material	Vidrio templado bajo en hierro	
Transmisividad	0,91	
Espesor (mm)	4	
FUNCIONAMIENTO		
Conexiones	4 x ¾" – M	
Montaje	Vertical	
Caudal recomendado (l/h x m ²)	50	
Conexionado en línea	Máximo 7 captadores (recomendado 5)	

ILUSTRACIÓN 25: CARACTERÍSTICAS DEL COLECTOR SOLAR PLANO

Curva de rendimiento instantáneo en función de T_m
(Norma EN-12975)

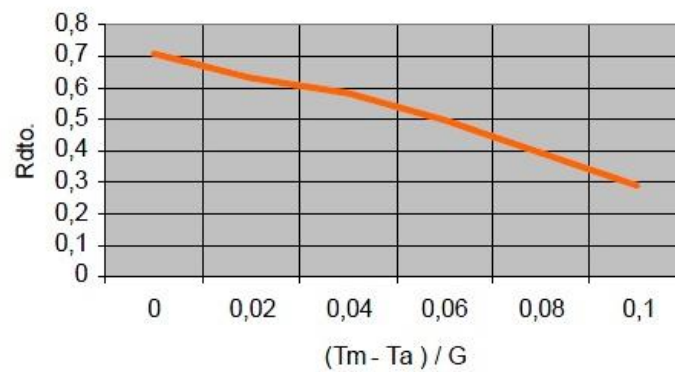


ILUSTRACIÓN 26: CURVA DE RENDIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR PLANO

EFICIENCIA	
Rendimiento (η_0)	0,725 %
K1 (W/m ² k)	3,461
K2 (W/m ² k ²)	0,011

ILUSTRACIÓN 27: EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR PLANO SELECCIONADO

El fluido caloportador empleado y que recomienda el fabricante será una mezcla de propilenglicol y agua: Ecoglicol Plus FLD.

CARACTERÍSTICAS DE LA CALDERA MURAL

La caldera mixta empleada será el modelo Themafast NOx F30 Saunier Duval en la instalación para abastecer la demanda de ACS y suelo radiante será dimensionada tanto para regímenes de trabajo de apoyo auxiliar como para cubrir la totalidad de la demanda calorífica de la instalación.

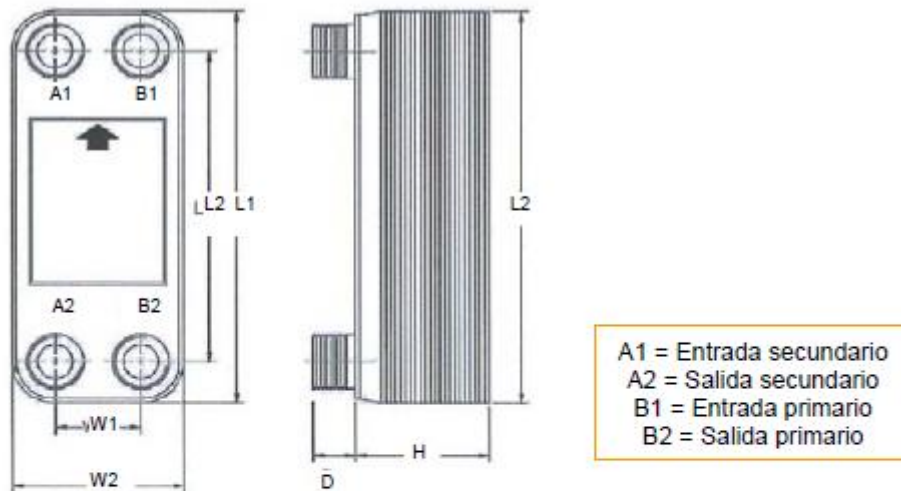
Características Técnicas

		GAMA CONFORT	GAMA SUPER CONFORT
		THEMA NOx F 25	THEMAFAST NOx F 30
Referencia	GN GP	0010012686 0010012687	0010012688 0010012689
Tipo de gas	II2H3P		
Calefacción			
Potencia útil (50/30 °C)	kW	12,0 - 24,5	14,9 - 30,0
Potencia útil (80/60 °C)	kW	11,8 - 24,2	14,6 - 29,6
Rendimiento s/PCI (80/60 °C)	%	92,8	93,0
Rdto. 30% de carga (55/45 °C)	%	93,5	92,5
Temperatura	°C	38 - 80	38 - 80
Capacidad del vaso de expansión	L	8	8
Agua caliente sanitaria			
Potencia útil	kW	11,8 - 24,2	14,6 - 29,6
Ajuste de temperatura	°C	38-60	38 - 60
Caudal mínimo	L/min.	1,5	1,5
Caudal específico EN 13.203 (ΔT 25 °C)	L/min.	13,9	17,4
Presión máxima	bar	10	10

ILUSTRACIÓN 28: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CALDERA MURAL SELECCIONADA

CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se deberá dimensionar el intercambiador de calor para hacer posible la transferencia de calor necesaria del circuito primario de colectores al secundario con el objetivo de cumplir con los requerimientos de calefacción calculados. El intercambiador de calor escogido será el MS IP 601 de la marca SumSolar. Este dispondrá de las siguientes especificaciones:



ESPECIFICACIONES MS IP 601						
Número de placas	Potencia (kW)	Caudal		Pérdida de carga		Peso (kg)
		Primario (l/h)	Secundario (l/h)	Primario (m.c.a.)	Secundario (m.c.a.)	
14	30	1.338	648	1,99	0,72	1,5
24	55	2.448	1.188	2,74	0,84	2,0
46	80	3.522	1.704	2,96	0,78	3,1

ILUSTRACIÓN 29: CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR SELECCIONADO

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO RADIANTE

El montaje al completo del suelo radiante se realizará sobre productos de la marca ROTH. La placa de Nopas 21 Térmica elaborada en poliestireno expandido será la que constituya la primera capa de suelo calefactado.



Placa de Nopas 21 Térmica

Especificaciones técnicas



Dimensiones	1350 x 750 x 50 mm
Superficie	1,0125 m ²
Densidad nominal	25 Kg/m ³
Resist. térmica	0,7 m ² K/W
Resist. mínima a compresión	150 Kpa
Conductividad térmica	$\lambda = 0.030 \text{ W/mK}$
Suministro en cajas de cartón	12 placas / caja
Clasificación de reacción al fuego	E (autoextinguible)
Color	negro
Compatibilidad	tubos de Ø16 y Ø20 mm

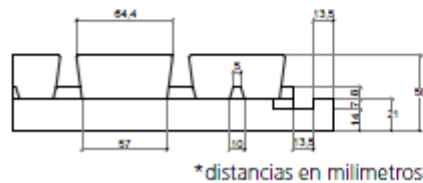


ILUSTRACIÓN 30: CARACTERÍSTICAS DEL SUELO RADIANTE SELECCIONADO

BOMBA DEL SUELO RADIANTE

La bomba seleccionada será la UPS Solar 25-120 de la marca Salvador Escoda. Su misión será la de impulsar el caudal de agua circulante que aportará la energía calorífica en el suelo radiante:

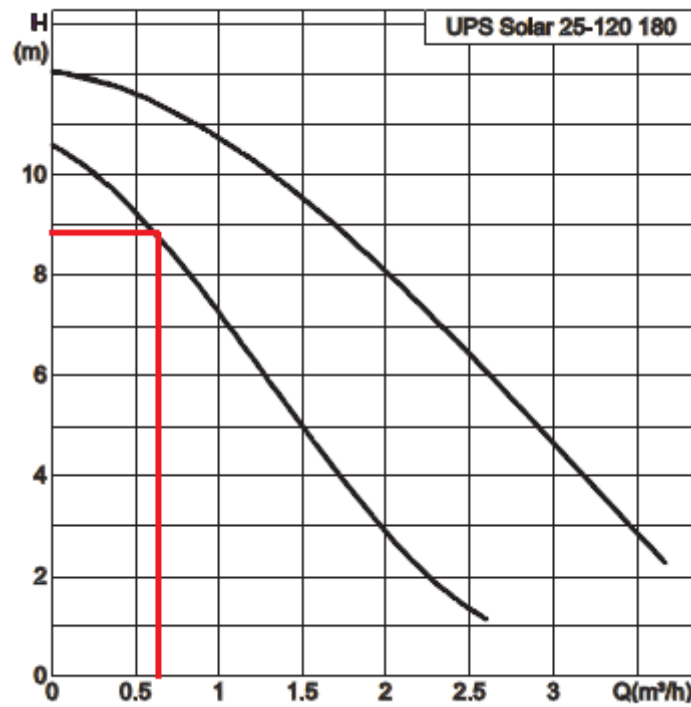


ILUSTRACIÓN 31: CURVA DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA SELECCIONADA

CARACTERÍSTICAS DEL ACUMULADOR DE AGUA

Interacumulador solar vitrificado MS

CARACTERÍSTICAS GENERALES					
	MS 150	MS 200	MS 250	MS 300	MS 400
Capacidad (l)	150	200	250	300	400
Constante de eficiencia 45°/90° l/h (kW)	884 (36)	982 (40)	1.105 (45)	1.302 (53)	1.523 (62)
Constante de eficiencia 45°/90° l/h (kW)	619 (36)	689 (40)	774 (45)	911 (53)	1.066 (62)
Máx. presión trabajo acum./ serp. (bar)	8 / 8				
Máx. presión prueba acum./serp. (bar)	15 / 25				
Capacidad serpentín (lts.)	5,5	7,6	8,8	10,4	13,6
Superficie de serpentín (m²)	0,74	0,95	1,10	1,30	1,70
Grosor aislante (mm)	50				
Aislamiento	Espuma rígida de poliuretano proyectado, libre de CFC				
Recubrimiento interior	Acero St 37.2 con recubrimiento de esmalte vitrificado, según XIN 4				
Aspecto externo	Forno desmontable de PVC flexible, uniones por cremallera, color g				
Protección anticorrosión	Ánodo de magnesio intercambiable				
Máxima temperatura de trabajo (°C)	95				

ILUSTRACIÓN 32: CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR SELECCIONADO(I)

Se escoge el acumulador solar MS 150 recomendado por el fabricante de colectores solares SUMSOL. Como característica reseñable lleva incorporado un serpentín donde se realizará el intercambio de calor.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
		MS150
Altura total (mm)	H	1.070
Diámetro (mm)	D	555
Peso en vacío (kg)		80



ILUSTRACIÓN 33: CARACTERÍSTICAS DEL DEPÓSITO ACUMULADOR (II)





13.-BIBLIOGRAFÍA

1. (s.f.). Obtenido de Salvador Escoda: www.salvadorescoda.com
 2. Obtenido de AEMET. Valores climatológicos normales de Getafe:
<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=3200&k=mad>
 3. (s.f.). Obtenido de Boletín Oficial del Estado: <http://www.boe.es>
 4. (s.f.). Obtenido de Factores de emisión propuestos para el cálculo de CO2:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/vigilancia_y_preencion_ambiental/Vigilancia_Y_Control_Ambiental/IPPC/PRTR/Guias_sectoriales/guia_ep_1c_v4.pdf
 5. (s.f.). Obtenido de CTE:
http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_septiembre_2013.pdf
 6. (s.f.). Obtenido de European Join Research Centre:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
 7. (s.f.). Obtenido de Fuentes de energía: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-termica-y-de-fluidos/fuentes-de-energia-2013/material-de---clase-1/ocw-fe-cap06.pdf/at_download/file
 8. (s.f.). Obtenido de Instalación de suelo radiante en vivienda unifamiliar:
<http://www.solarweb.net/forosolar/solar-termica/6241-instalacion-suelo-radiante-acs-vivienda-unifamiliar.html>
 9. (s.f.). Obtenido de JUNKERS: www.junkers.es
- Curso de Energía Solar Térmica. (s.f.).*
10. (s.f.). Obtenido de La mayor instalación de energía solar térmica del mundo:
<http://www.energiasolaresp.com/2012/05/la-mayor-instalacion-de-energia-solar.html>
 11. (s.f.). Obtenido de Las energías renovables: <http://web.adirse.org/energias-renovables/energia-solar-termica/>
 12. (s.f.). Obtenido de Método f-chart. CENSOLAR: http://www.censolar.es/_%20.htm
 13. (s.f.). Obtenido de Ministerio de Industria Energía y Turismo (RITE):
<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>
 14. (s.f.). Obtenido de Número de horas de sol en Getafe:
<http://espanol.weather.com/climate/sunRiseSunSet/Madrid+M+Spain+SPXX0050:1:SP?month=3>
 15. (s.f.). Obtenido de Perspectivas de la energía solar térmica:
<http://faircompanies.com/blogs/view/el-brillante-futuro-la-energia-solar-termica/>
 16. (s.f.). Obtenido de Resistencias térmicas de los materiales: <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=22>



17. (s.f.). Obtenido de ROTH: www.roth-spain.com
18. (s.f.). Obtenido de SUMSOL: http://sumsol.es/wp-content/uploads/pdfs/Catalogo_termica_COMPLETO_ED1109.pdf
19. (s.f.). Obtenido de TECNOMAR: www.pvctecnomar.com
20. (s.f.). Obtenido de VIESSMANN: www.viessmann.es
20. (s.f.). *Curso de Energía Solar Térmica. Garcia, Juan Guillermo Guerrero. Cefoim.*
21. (s.f.). *Energías Renovables. Izquierdo, Marcelo. Universidad Carlos III de Madrid.*
22. (s.f.). *ACS. Calor y Frío Industrial. Soria, Antonio. Universidad Carlos III de Madrid.*
23. (s.f.). *Cargas Térmicas. Calor y Frío Industrial. Soria, Antonio. Universidad Carlos III de Madrid.*
24. (s.f.). *Cargas Térmicas. Vega, Mercedes. Universidad Carlos III de Madrid.*